



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TRABAJO FINAL DE GRADO

**TÍTULO:**

**DISEÑO ESTACIÓN DE CALIBRACIONES PARA IMPACTADORES DE  
PROTECCIÓN DE PEATONES**

**AUTOR:** IVÁN PASTOR HERNÁNDEZ

**TITULACIÓN:** GRADO EN INGENIERIA MECANICA

**DIRECTOR:** JOAN JOSEP ALIAU PONS

**DEPARTAMENT:** Departament d' Expressió Gràfica a l' Enginyeria

**DATA:** 13 Julio de 2016

**TÍTULO:** DISEÑO ESTACIÓN DE CALIBRACIONES PARA IMPACTADORES DE PROTECCIÓN DE PEATONES

**APELLIDOS:** PASTOR HERNÁNDEZ

**NOMBRE:** IVÁN

**TITULACIÓN:** GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA

**PLAN:**2016

**TUTOR:** JOAN JOSEP ALIAU PONS

**DEPARTAMENTO:** Departament d' Expressió Gràfica a l' Enginyeria

**CUALIFICACIÓN DEL TFG**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENTE**

José María Ibáñez García

**SECRETARIO**

Dolores López Membrilla

**VOCAL**

Salvador Buti Papiol

**FECHA DE LECTURA:**13 de Julio de 2016





## ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN .....	13
2. INTRODUCCIÓN.....	16
2.1 Planteamiento .....	20
2.2 Objetivos .....	20
2.3 Justificación.....	21
3. ESTUDIO PREVIO: PROTECCIÓN DE PEATONES.....	23
3.1 Tipos de ensayos de protección de peatones .....	24
3.1.1 Heads (Impactados de cabezas) .....	24
3.1.2 Upper Legform (Impactos de cadera) .....	25
3.1.3 Lower Legform (Impactos de pierna) .....	25
4. ESTUDIO PREVIO: IMPACTADORES .....	28
4.2 Descripción de equipos y sensores de adquisición de datos .....	28
4.3 Child&Adult Headform.....	31
4.3.1 Información general .....	31
4.3.2 Morfología de los impactadores .....	31
4.3.3 Sensores.....	33
4.3.4 Adquisición de datos .....	34
4.4 Upper Legform (cadera).....	34
4.4.1 Información general .....	34
4.4.2 Morfología del impactador .....	36
4.4.3 Sensores & Adquisición de datos .....	37
4.5 Lower Legform TRL .....	38
4.5.1 Información general .....	38
4.5.2 Morfología del impactador .....	38
4.5.3 Sensores & Adquisición de datos .....	40
4.6 FLEX-Pli GTR (Flexible Pedestrian Legform Impactor GTR: Global Technical Group).....	42
4.6.1 Información general .....	42
4.6.2 Morfología del impactador .....	43
4.6.3 Sensores.....	46
4.6.4 Adquisición de datos.....	49

5. ESTUDIO PREVIO: PROCESOS DE CALIBRACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE.....	52
5.1 Calibración Headforms.....	52
5.1.1 Requisitos de ensayo.....	52
5.1.2 Calibración dinámica.....	53
5.2 Calibración Upper Legform .....	54
5.2.1 Requisitos de ensayo.....	54
5.2.2 Calibración dinámica.....	54
5.3 Calibración Lower Legform TRL.....	56
5.3.1 Calibración Estática (flexión y cizalladura).....	56
5.3.2 Calibración Dinámica .....	58
5.4 Calibración FLEX-PLI GTR .....	61
5.4.1 Pendulum test.....	62
5.4.2 Inverse test .....	65
5.5 Resumen especificaciones de las calibraciones .....	67
6. ESTUDIO PREVIO AL DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	69
6.1 Proceso actual de las calibraciones en el Laboratorio de Peatones .....	69
6.1 Desventajas y problemas actuales.....	74
7. DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	78
7.1 Bancada.....	78
7.2 Carro deslizante .....	79
7.2.1 Guías y cojinetes .....	80
7.3 Sistema de propulsión.....	82
7.3.1 Motor lineal .....	82
7.4 Módulo <i>PENDULUM</i> .....	83
7.4.1 Motor posicionamiento angular .....	85
7.4.2 Sistema de recogida y liberación .....	85
7.5 Módulo <i>INVERSE TEST</i> .....	86
7.5.1 Sistema de liberación.....	86
7.6 Upper legform .....	88
7.8 Lower legform .....	89
7.9 Estructura calibraciones estáticas.....	90
7.7 Placas de protección .....	91

7.8 Sistema de control .....	92
8. CÁLCULOS .....	94
8.1 Módulo <i>PENDULUM</i> .....	94
8.1.1 Motor posicionamiento radial .....	94
8.1.2 Stopper bar .....	95
8.2 Sistema de propulsión.....	101
8.2.1 Carro .....	101
8.2.2 Propulsor .....	104
8.2.3 Shock Absorbers.....	104
9. PLIEGO DE CONDICIONES .....	107
9.1 Tolerancias de fabricación .....	107
9.2 Materiales de fabricación y elementos comerciales .....	107
10. PRESUPUESTO .....	109
11. ACEPTACIÓN DEL PROYECTO EN LA EMPRESA .....	114
12. VISUALIZACIÓN FINAL DEL PROTOTIPO .....	116
13. CONCLUSIONES.....	120
14. ANEXOS .....	122
15. BIBLIOGRAFIA .....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Volvo con airbag de protección de peatones</b> <a href="http://automiddleeast.com">http://automiddleeast.com</a> .....	15
<b>Figura 2: Sensor proximidad peatones</b> <a href="http://www.just-auto.com">www.just-auto.com</a> .....	16
<b>Figura 3: Capó activo</b> <a href="http://en.auto-news7.com/">http://en.auto-news7.com/</a> .....	17
<b>Figura 4: Esquema impactadores sobre coche</b> <a href="http://www.bast.de">www.bast.de</a> .....	18
<b>Figura 5: Simulación ensayo cabeza</b> <a href="http://www.euroncap.com">www.euroncap.com</a> .....	24
<b>Figura 6: Simulación ensayo cadera</b> <a href="http://www.euroncap.com">www.euroncap.com</a> .....	24
<b>Figura 7: Simulación ensayo pierna</b> <a href="http://www.euroncap.com">www.euroncap.com</a> .....	25
<b>Figura 8: Esquema de medición de un acelerómetro</b> <a href="https://unisens.pl">https://unisens.pl</a> .....	27
<b>Figura 9: Esquema e imagen potenciómetro angular</b> <a href="http://lpsa.swarthmore.edu/">http://lpsa.swarthmore.edu/</a> .....	28
<b>Figura 10: Galga extensiométrica</b> <a href="http://www.showa-sokki.co.jp/">http://www.showa-sokki.co.jp/</a> .....	29
<b>Figura 11: Célula de carga</b> <a href="http://www.sensores-de-medida.es/">http://www.sensores-de-medida.es/</a> .....	29
<b>Figura 12: Impactadores de cabeza adulta y niño</b> Fotografía propiedad de Applus IDIADA.....	31
<b>Figura 13: Esquema de ensayo de cabeza contra capó</b> <a href="http://www.euroncap.com">www.euroncap.com</a> .....	31
<b>Figura 14: Plano en sección impactador de cabeza</b> <a href="http://eur-lex.europa.eu">http://eur-lex.europa.eu</a> .....	32
<b>Figura 15: Acelerómetros impactador cabeza</b> Fotografía propiedad de Applus IDIADA.....	32
<b>Figura 16: Datalogger impactador de cabeza</b> Fotografía propiedad de Applus IDIADA.....	33
<b>Figura 17: Upper legform EuroNCAP test</b> <a href="http://www.euroncap.com">www.euroncap.com</a> .....	34
<b>Figura 18: Impactador de cadera</b> Fotografía propiedad de Applus IDIADA.....	35
<b>Figura 19: Disco ferodo Upper Legform</b> Fotografía propiedad de Applus IDIADA.....	35
<b>Figura 20: SensoresUpperLegform</b> <a href="http://eur-lex.europa.eu/">http://eur-lex.europa.eu/</a> .....	36
<b>Figura 21: Lower Legform TRL</b> <a href="http://www.oasys-software.com">www.oasys-software.com</a> .....	37
<b>Figura 22: TRL LowerLeg</b> Fotografía User manual TRL.....	37
<b>Figura 23: Ligamentos TRL</b> <a href="http://www.trl.co.uk/">http://www.trl.co.uk/</a> .....	38
<b>Figura 24: TRL impac to bumper</b> <a href="http://www.oasys-software.com">www.oasys-software.com</a> .....	38
<b>Figura 25: Sección fémur</b> Fotografía User manual TRL.....	39
<b>Figura 26: Sección fémur</b> Fotografía User manual TRL.....	39
<b>Figura 27: Sección fémur</b> Fotografía User manual TRL.....	40
<b>Figura 28: Sección fémur</b> Fotografía User manual TRL.....	40
<b>Figura 29: FLEX-Pli GTR impactor 3D</b> <a href="http://www.unece.org">www.unece.org</a> .....	41
<b>Figura 30: Ensayo Flex-PI i</b> <a href="http://www.euroncap.com">www.euroncap.com</a> .....	41
<b>Figura 31: FLEX-Pli GTR vehicle test</b> <a href="http://www.slideshare.net/AltairHTC">http://www.slideshare.net/AltairHTC</a> .....	42
<b>Figura 32: Morfología FLEX-Pli GTR</b> <a href="http://www.slideshare.net/AltairHTC">http://www.slideshare.net/AltairHTC</a> .....	43

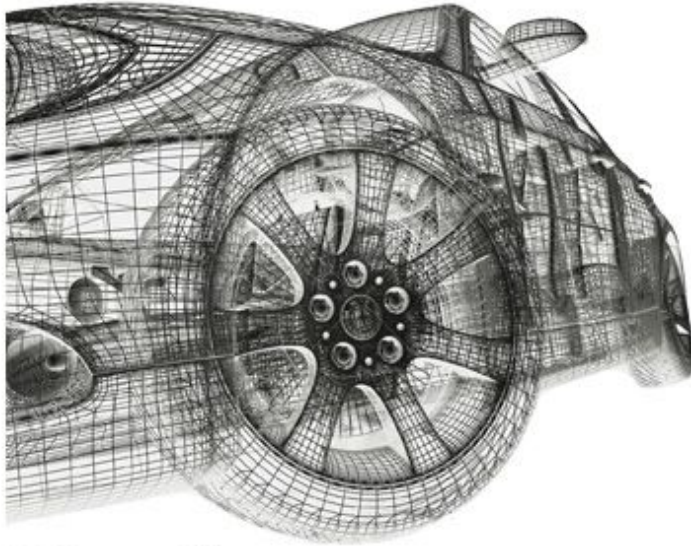
<b>Figura 33: Flex-pli Bone assembly</b> <a href="http://www.slideshare.net/AltairHTC">http://www.slideshare.net/AltairHTC</a> .....	43
<b>Figura 34: FLEX-Pli GTR Tibia &amp; Femur</b> <a href="http://www.slideshare.net/AltairHTC">http://www.slideshare.net/AltairHTC</a> .....	44
<b>Figura 35: Flex-pli cable Assembly</b> Fotografía de Flex-Pliuser manual.....	44
<b>Figura 36: Flex-pli Knee Bending</b> Fotografía de Flex-Pliuser manual.....	45
<b>Figura 37: Flex-pli Channel instrumentation</b> Fotografía de Flex-Pliuser manual.....	46
<b>Figura 38: Flex-pli Strain Gauges</b> Fotografía de Flex-Pliuser manual.....	46
<b>Figura 39: Flex-pli vista explosionada de la rodilla</b> Fotografía de Flex-Pliuser manual.....	47
<b>Figura 40: Ligamentos en pierna humana y FLEX-Pli GTR</b> Fotografía de Flex-Pliuser manual.....	48
<b>Figura 41: Flex-pli Dataloggers</b> Fotografía de Flex-Pliuser manual.....	49
<b>Figura 42: Sistema de conexión para ensayo Flex-pli</b> Fotografía de Flex-Pliuser manual.....	49
<b>Figura 43: Estructura de calibración para impactadores de cabeza</b> Reg. EC 631_2009.....	52
<b>Figura 44: Procedimiento ensayo impactador de cadera</b> Reg. EC 631_2009.....	54
<b>Figura 45: Gráfico de relación fuerza-ángulo para ensayos estáticos</b> Reg. EC 631_2009.....	55
<b>Figura 46: Gráfico relación fuerza-desplazamiento para ensayos estáticos</b> Reg. EC 631_2009.....	56
<b>Figura 47: Vista superior de certificación de flexión</b> Reg. EC 631_2009.....	56
<b>Figura 48: Vista superior de certificación de cizalla</b> Reg. EC 631_2009.....	57
<b>Figura 49: Vista lateral certificación dinámica TRL</b> Reg. EC 631_2009.....	58
<b>Figura 50: Vista superior certificación dinámica TRL</b> Reg. EC 631_2009.....	59
<b>Figura 51: Detalles impactador de certificación</b> Reg EC 631_2009.....	59
<b>Figura 52: Calibration Schedule</b> Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9.....	60
<b>Figura 53: Pendulum test</b> Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9.....	62
<b>Figura 54: Tabla 1 valores pendulum test</b> Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9.....	63
<b>Figura 55: Tabla 2 valores pendulum test</b> Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9.....	63
<b>Figura 56: Inverse test</b> Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9.....	64
<b>Figura 57: Tabla valores inverse test</b> Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9.....	65
<b>Figura 58: DITS2 laboratorio peatones</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	68
<b>Figura 59: DITS1 laboratorio peatones</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	69
<b>Figura 60: Inverse test DITS</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	69
<b>Figura 61: Impactador inverse test usado</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	69
<b>Figura 62: Estructura pendulum test 1</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	70
<b>Figura 63: Estructura pendulum test 2</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	70
<b>Figura 64: Calibración TRL cizalla</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	71
<b>Figura 65: Calibración TRL flexión</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	71
<b>Figura 66: Calibración dinámica TRL</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	72

<b>Figura 67: Calibración UpperLegform</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	72
<b>Figura68: Estructura calibración heads</b> Fotografía propiedad de IDIADA.....	73
<b>Figura 69: DITS1 Layout</b> Fuente propia.....	74
<b>Figura 70: Layout DITS2</b> Propiedad de Applus IDIADA.....	75
<b>Figura 71: Bancada máquina</b> Fuente propia.....	77
<b>Figura 72: Carro deslizante</b> Fuente propia.....	78
<b>Figura 73: Carro deslizante con alargador</b> Fuente propia.....	79
<b>Figura 74: Cojinetes</b> <a href="http://www.schaeffler.de">www.schaeffler.de</a> .....	79
<b>Figura 75: Guías</b> <a href="http://www.schaeffler.de">www.schaeffler.de</a> .....	79
<b>Figura 76: Ensamble guías bastidor</b> Fuente propia.....	80
<b>Figura 77: Posición Inverse test</b> Fuente Propia.....	80
<b>Figura 78: Motor lineal</b> <a href="http://www.rockwellautomation.com">www.rockwellautomation.com</a> .....	81
<b>Figura 79: Soporte segmentos motor</b> Fuente propia.....	82
<b>Figura 80: Módulo Pendulum</b> Fuente propia.....	83
<b>Figura 81: Posición Pendulum test</b> Fuente propia.....	83
<b>Figura 82: Motor angular</b> <a href="http://www.rockwelautomation.com">www.rockwelautomation.com</a> .....	84
<b>Figura 83: Sistema recogida/liberación</b> Fuente propia.....	84
<b>Figura 84: Sistema liberación Inverse test</b> Fuente propia.....	86
<b>Figura 85: Muelle axial rotativo</b> Fuente propia.....	86
<b>Figura 86: Movimiento gatillo mecánico</b> Fuente propia.....	87
<b>Figura 87: Configuración UpperLegform</b> Fuente propia.....	87
<b>Figura 88: Configuración calibración Lowerleg TRL</b> Fuente propia.....	88
<b>Figura 89: Mesa calibraciones estáticas</b> Fuente propia.....	89
<b>Figura 90: Estructura calibración cabezas</b> Fuente propia.....	90
<b>Figura 91: Placas de protección</b> Fuente propia.....	90
<b>Figura 92: Esquema fuerzas Pendulum test</b> Fuente propia.....	93
<b>Figura 93: Aceleración Flex-Pli</b> DiademNational Instruments.....	95
<b>Figura 94: Aceleración filtrada Flex-Pli</b> Diadem National Instruments.....	96
<b>Figura 95: Cálculo de fuerza</b> Diadem National instruments.....	97
<b>Figura 96: Mallado stopper bar con distribución de fuerzas</b> Siemens NX.....	98
<b>Figura 97: Tensión normal stopper bar</b> Siemens NX.....	99
<b>Figura 98: Valores de tensiones del acero</b> <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_de_rotura">https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_de_rotura</a> .....	99
<b>Figura 99: Esquema fuerzas propulsor</b> Siemens NX.....	100

<b>Figura 100: Distribución de fuerza en carro Siemens NX.....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 101: Valores de tensiones del aluminio <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_de_rotura..">https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_de_rotura..</a></b>	<b>101</b>
<b>Figura 102: Deformaciones carro Siemens NX.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 103: Cargas en propulsor Siemens NX.....</b>	<b>103</b>







# 01 Resumen

## 1. RESUMEN

En Applus IDIADA Automotive Technology, en el departamento de seguridad pasiva, concretamente en el laboratorio de protección de peatones, ha surgido la idea de crear una máquina que sea capaz de realizar una serie de calibraciones estáticas y dinámicas a varios de los impactadores que se utilizan para el desarrollo y homologación de los automóviles en el ámbito de protección de peatones.

Cuando hablamos de impactadores, se hace referencia a una serie de elementos, que simulan ciertas partes del cuerpo humano que entran en juego cuando un peatón es atropellado por un automóvil. Los impactadores están instrumentados con diversos sensores para la obtención de datos mediante los impactos y así poder analizarlos y contrastar junto con el vehículo que se hace el ensayo la gravedad que tendría el peatón si fuese un atropello real.

Protección de peatones consta de dos máquinas para realizar estos ensayos situadas cada una de ellas en un laboratorio independiente. Su funcionamiento básico, se resumen a lanzar los impactadores con diferente morfología y diferentes velocidades, sobre diversas partes del coche.

Por definición de los fabricantes, los impactadores han de someterse a una serie de comprobaciones (calibraciones) estáticas y dinámicas para certificar que después de cada cierto número ensayos, siguen trabajando y obteniendo datos de forma óptima.

Estos ensayos de calibración se realizan en diferentes partes de los laboratorios, incluso alguna de ellas fuera del mismo departamento. También hay algunas de éstas calibraciones en las que se utilizan las propias máquinas de ensayo de vehículo, lo que conlleva una carga de trabajo en momentos puntuales, mayor a la que suele estar planificada.

Así que la idea del proyecto es diseñar y fabricar una máquina que sea capaz de poder realizar las calibraciones, para poder liberar de esas cargas puntuales a ambas máquinas, y centralizando todo los procesos en una misma estación de trabajo, para que así se pueda calibrar de una forma óptima, sin desplazamientos innecesarios, con un proceso bien definido, y un sistema de control de las calibraciones.

## ABSTRACT

Applus IDIADA Automotive Technology , Department of passive safety , particularly in the laboratory of pedestrian protection , has emerged the idea of develop a machine that should be capable of performing some kind of static and dynamic calibration test for impactor that are used for the development and approval of cars in the area of pedestrian protection.

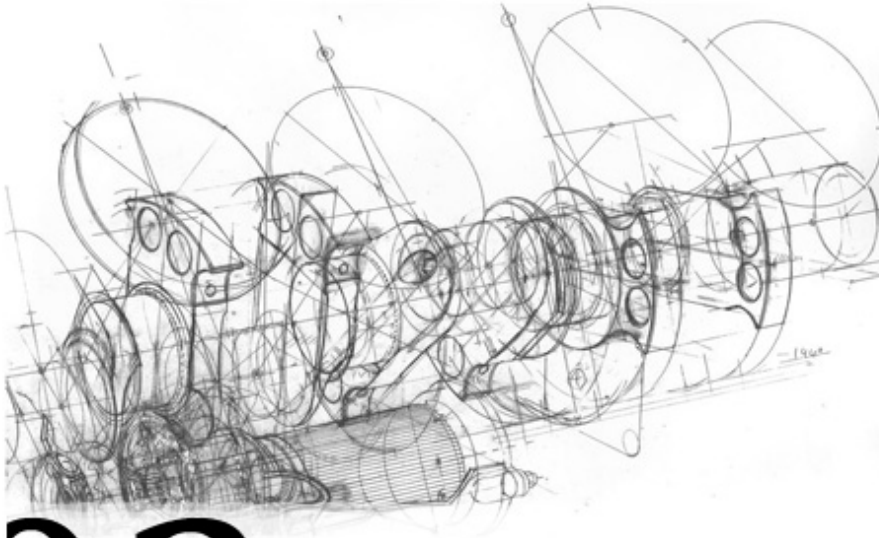
The impactors are a series of elements that pretend to simulate some parts of the human body that come into involved when a pedestrian is rolled out by a car. The impactors are instrumented with various sensors for obtaining data during the performance of the test impacts and, after this be able to analyze and contrast with a real pedestrian run over.

Pedestrian protection laboratory in IDIADA have two machines to perform these tests located each one in an independent laboratory. The basic operations of these machines are launch impactors with different morphology and different speeds on different parts of the car.

By definition of the manufacturers of the impactors, it should to performance some calibration test(static test and dynamic test) to certify that the impactors and obtaining data and working optimally after a several number of test.

These calibration tests are performed in different parts of the laboratories, even some of them outside the department. There are also some of these calibrations that are performed with the same testing machines that are used to perform the vehicle test. That leads to little work overloads that are not usually planned.

So the idea of the project is to design and manufacture a station of calibration machine that should be able to perform calibrations test, to release both vehicle test machines overloads working tasks, and centralize all processes on the same workstation, so that can be calibrated optimally without unnecessary movements to different places, with an optimal defined process, and a control system of the impactors calibrations.



# 02 Introducción

## 2. INTRODUCCIÓN

La seguridad pasiva de un vehículo es cualquier elemento que actúa de forma no directa, y sin ser actuada o activada, por el piloto o cualquier ocupante del vehículo, con el fin de reducir los daños, o evitar que estos sucedan cuando un accidente es inevitable.

Dentro de estos elementos podemos encontrar, por ejemplo:

- Cinturones de seguridad
- Airbags
- Reposacabezas
- Control de estabilidad
- Sistema de frenado ABS
- Chasis y carrocería
- Elementos deformables para la absorción de energía

Dentro de la seguridad pasiva, encontramos el sector de protección de peatones. Cuando hablamos de protección de peatones, nos referimos a los elementos de protección pasivos que tiene un vehículo para intentar minimizar al máximo el daño que sufre un peatón al ser atropellado por un coche.



**Figura1: Volvo con airbag de protección de peatones**  
<http://automiddleeast.com>

Como se puede apreciar en la ilustración, el Volvo V40 fue el pionero en la creación de un airbag para la cabeza de los peatones cuando son atropellados.

Es un claro referente en este sistema, pero la protección de peatones es bastante más amplia y cuenta con otros muchísimos elementos que no se aprecian a simple vista.

Hay muchos elementos que entran en juego para minimizar o evitar las lesiones a los peatones, contamos desde detectores de peatones en la parte frontal del coche, que evalúan la gravedad de la situación y hacen que el vehículo frene de forma automática.

Por otro lado tenemos los capós activos, que mediante un “sensor de choque” son capaces de diferenciar si están atropellado a un peatón o algún otro elemento que podemos encontrar en carretera y una vez evaluado por la centralita, el capó se levanta por la parte contraria a la que se levanta normalmente, es decir, se eleva de la parte de las bisagras para dejar así más espacio entre capó y motor y que pueda absorber más energía del impacto del peatón.



**Figura 2: Sensor proximidad peatones**  
[www.just-auto.com](http://www.just-auto.com)



**Figura 3: Capó activo**  
<http://en.auto-news7.com/>

A parte de estos dos elementos mencionados como ejemplo, gran parte del trabajo lo hace el mismo coche, ya que estos dos sistemas hoy en día suelen ser opcionales en configuración de la compra del vehículo.

Refiriéndonos al mismo coche, nos centramos en el diseño del mismo, tanto exteriormente, como en las partes interiores. Como ejemplos podemos mencionar, la parte interior del capó, que está diseñada de manera que pueda absorber energía en caso de impacto, piezas diseñadas especialmente bajo el parachoques para reducir el daño de la pierna del peatón, etc...

Ahora viene la pregunta clave, y quizás la más compleja: Cómo se consigue todo esto? Bien, está claro que para todo esto hay que realizar ensayos para corroborar lo que realmente pasa cuando se atropella a un peatón, así que lo primero que nos puede venir a la cabeza es coger un **dummy** (*maniquí con forma de una persona humana, que está equipado con sensores y se utiliza en ensayos de choque para simular accidentes de vehículos*) y atropellarlo, pero los costes de estos ensayos serían bastante cuantiosos, así que existe otra alternativa bastante más económica.

Esta alternativa, por increíble que parezca, es dejar el coche estático y dispararle el peatón. Por raro que parezca, en la mayoría de los casos se hace así, con el coche parado sobre una bancada se le lanzan diferentes **impactadores** que simulan partes del cuerpo humano, con una maquinaria especial diseñada para ello.

La ventaja de esto, es que es mucho más sencillo poder realizar ensayos, ya que hacen falta numerosas pruebas de este tipo en coches prototipo para llegar a conseguir un buen diseño.



Los impactadores que son más utilizados para hacer los ensayos son:

- Impactadores de cabeza
- Impactadores de pierna
- Impactador de cadera

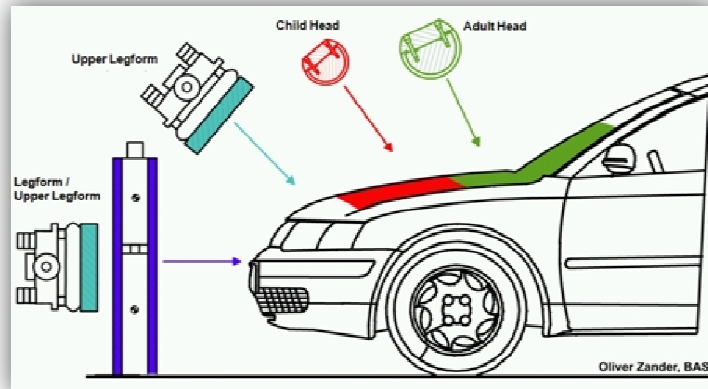


Figura 4: Esquema impactadores sobre coche  
[www.bast.de](http://www.bast.de)

Los ensayos que se realizan con éstos impactadores están regulados por diferentes normativas, según lo que se esté desarrollando en el vehículo.

Los impactadores, están dotados de diferentes sensores para poder analizar los datos recogidos posteriormente al impacto que recibe el coche. Si nos lo paramos a pensar, tiene todo el sentido el mundo. Cuando somos arrollados por un coche, lo primero que impacta de nuestro cuerpo contra él es la pierna haciendo que ésta salga dañada con bastante gravedad, así pues no afecta a los ligamentos, posible torcedura o rotura de tobillo, etc... Que se destruya más o menos el coche, es lo menos importante en este caso.

Los impactadores han sido desarrollados y construidos por diversas empresas expertas en el sector, cumpliendo estrictamente las normativas de ensayo.

Todos ellos, obviamente aparte de cumplir la normativa, se utilizan para realizar ensayos destructivos sobre el vehículo, lo que conlleva un posible deterioro o mal funcionamiento, es por eso que los fabricantes para cada impactador han definido ciertos **ensayos de calibración**, para certificar su correcto funcionamiento, y que todos sus sensores están adquiriendo datos de manera correcta.

## 2.1 Planteamiento

En el laboratorio de peatones de IDIADA, se realizan las **calibraciones** de los impactadores para auto certificar que están funcionando de manera óptima.

En los diferentes procesos actuales de calibración se usan diferentes estructuras/elementos, se encuentran situados en diferentes partes/lugares del laboratorio, incluso alguna de ellas en otro sub-departamento.

Algunas de las calibraciones llevadas a cabo en los laboratorios de peatones de Applus IDIADA son con sus propias máquinas de ensayo, las cuales se utilizan mismamente para realizar los ensayos que sean pertinentes según el proyecto en el que se esté trabajando, creando así puntualmente pequeñas cargas de trabajo extras, realizar algunas horas extra del personal, etc..

Así pues planteamiento es diseñar y posteriormente fabricar, si las conclusiones del proyecto resultan viables, una máquina capaz de hacer una serie de calibraciones a diferentes tipos de impactadores que se utilizan para protección de peatones.

## 2.2 Objetivos

El objetivo principal es la fabricación de la estación de calibración, pero indirectamente hay que analizar correctamente qué debe de hacer esta máquina y porque debe de hacerlo, así pues tendrá que cumplir una serie de requisitos para poder realizar este tipo de ensayos, explicadas más adelante en el pliego de condiciones de la misma.

**Los objetivos de este proyecto son:**

- Analizar el estado actual de las calibraciones de los laboratorios
- Analizar los procesos actuales de calibración definidos por los fabricantes de los impactadores.
- Diseñar las diferentes partes de la máquina con relación a los procesos y especificaciones.
- Realizar los cálculos pertinentes de la máquina.

## 2.3 Justificación

Como consecuencia del estado actual en el que se encuentran las calibraciones, surgió la idea de diseñar esta estación, donde tenerlo todo centralizado, más ordenado y mejor definido, agilizando así los propios procesos, y a la misma vez liberar a las máquinas de esas pequeñas cargas puntuales de trabajo extra.



# 03 Estudio previo: Protección de peatones

### 3. ESTUDIO PREVIO: PROTECCIÓN DE PEATONES

Una vez clara la idea de que hay que diseñar y fabricar una máquina para hacer calibraciones, para aclarar y encontrar sentido a lo que realmente hay que hacer será presentar desde fuera hacia dentro un poco el sector de protección de peatones hasta llegar a dónde se necesita para tener claros los conceptos y todas las especificaciones.



Dentro del ámbito de seguridad pasiva en el mundo de la automoción, ésta misma cuenta con la seguridad y protección de peatones.

Hay veces que no somos conscientes de lo grave que puede ser un atropello, dando siempre prioridad a la seguridad en sí de los ocupantes del vehículo cuando hablamos de seguridad.

Estudios certifican que alrededor del 15% de las muertes en accidentes de tráfico de toda Europa son atropellos a peatones.

La gran parte de estos accidentes obviamente se producen en zonas urbanas a velocidades relativamente bajas (alrededor de 40km/h), la cabeza, parte superior del tronco y las piernas suelen ser las zonas más afectadas en un atropello.

Así pues, cuando contamos con desarrollar un coche seguro, también se debe de tener en cuenta el diseño exterior de la parte frontal del coche y todas las piezas que lo componen con el fin de poder proteger, o intentar reducir, los daños que se puedan ocasionar a un peatón en caso de atropello, como por ejemplo:

- Elementos de deformación especiales en caso de impacto del parachoques delantero
- Aumentar la distancia entre capó y motor
- Pasos de rueda deformables
- Suprimir piezas salientes del vehículo y bordes cortantes
- Lunas delanteras laminadas
- Diseño del capó
- Etc..

Para llevar a cabo dicho desarrollo, después de las fases de diseño, simulaciones, y construcción de los primeros prototipos, pasamos a la parte de “testing” o de la realización de ensayos con los automóviles.

Dichos ensayos, están regulados por diferentes normativas que han sido estipuladas por organizaciones expertas en el sector de seguridad pasiva, donde se ponen en común conocimientos y se gestiona el procedimiento de estos ensayos y el análisis de los mismos.

### 3.1 Tipos de ensayos de protección de peatones

De acuerdo con dichos estudios, los ensayos se pueden dividir en tres grupos, mencionados en los siguientes apartados.

Pero el concepto general de ensayos de peatones es que el coche se mantiene estático (apagado y con freno de estacionamiento), y se le lanzan diferentes impactadores simulando diferentes partes del cuerpo humano, a diferentes velocidades, haciendo así la inversa de un atropello.

Cualquier impactador lanzado está equipado con sensores para poder capturar los datos y analizarlos después del ensayo, independientemente de si el coche pueda estar instrumentado con sensores o no.

#### 3.1.1 Heads (Impactados de cabezas)

Dentro de los ensayos de cabezas, distinguiremos entre cabeza de adulto (**Adult Headform**) y cabeza de niño (**Child Headform**).

Estos ensayos van configurados a un determinado ángulo y velocidad, y se ensaya en diferentes zonas del capó.

Los impactadores de cabeza están instrumentados cada uno de ellos con 3 acelerómetros en los 3 ejes de posición (X Y Z).



**Figura 5: Simulación ensayo cabeza**  
[www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)

### 3.1.2 Upper Legform (Impactos de cadera)

Estos ensayos simulan la parte inferior del tronco del peatón (pelvis) cuando impacta contra la parte frontal del coche.

La Upper está instrumentada con células de carga, galgas extensiométricas y un acelerómetro.



**Figura 6: Simulación ensayo cadera**  
[www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)

### 3.1.3 Lower Legform (Impactos de pierna)

Por último, se realizan ensayos de pierna, quizás de los más complejos de realizar y de los retos mayores a la hora del diseño del vehículo.

Esto sucede debido a la fragilidad de la rodilla cuando recibe un impacto lateral, ya que entran en juego los ligamentos dándonos solo una cierta flexibilidad antes de romperse.



**Figura 7: Simulación ensayo pierna**  
[www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)

Por el momento hay dos tipos de impactadores que simulan la pierna humana y se utilizan para estos ensayos, Lower Legform TRL (de morfología e instrumentación muy sencilla) y FLEX-Pli GTR (de morfología muy compleja y numerosa instrumentación).





# 4

Estudio previo:  
Impactadores

## 4. ESTUDIO PREVIO: IMPACTADORES

Centrándonos en que este proyecto se basa en diseñar y construir una máquina para realizar las calibraciones de los impactadores de peatones, que mejor que profundizar un poco más en ellos para conocer cómo funcionan, que sensores llevan, etc.

A banda de, y como pequeño apunte, todos estos impactadores incluyendo obviamente dummies de crash test, han sido diseñados a partir de ensayos y diferentes pruebas realizadas con cuerpos humanos donados a la ciencia.

### 4.2 Descripción de equipos y sensores de adquisición de datos

#### **Acelerómetro:**

*Se denomina acelerómetro a cualquier instrumento destinado a medir aceleraciones. Esto no es necesariamente la misma que la aceleración de coordenadas (cambio de la velocidad del dispositivo en el espacio), sino que es el tipo de aceleración asociada con el fenómeno de peso experimentado por una masa de prueba que se encuentra en el marco de referencia del dispositivo.*

**Texto citado de:** <https://es.wikipedia.org/>



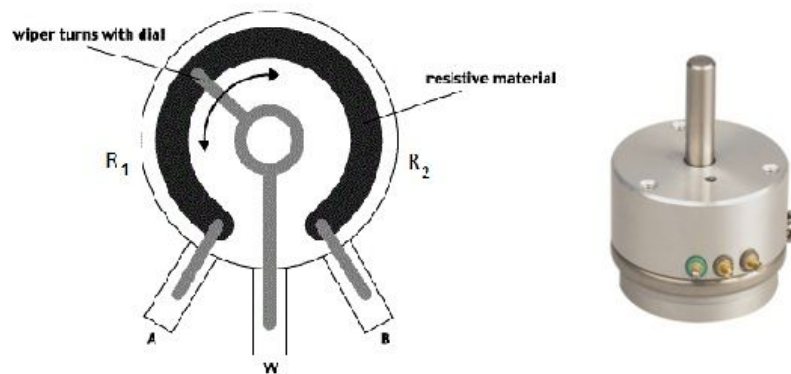
**Figura 8: Esquema de medición de un acelerómetro**  
<https://unisens.pl>

**Potenciómetro angular:**

*Un sensor de ángulo magnético o sensor de posición angular magnético, está pensado para la medida de posición angular mediante tecnología magnética. Es decir, contamos con dos elementos un detector y un emisor, el emisor es principalmente un imán que al variar su posición, también lo harán sus polos. Por este principio de funcionamiento, contamos con un sensor de ángulo absoluto.*

*El detector interpreta la posición del emisor y calcula el ángulo de forma absoluta.*

**Texto citado de: [www.sensores-de-medida.es](http://www.sensores-de-medida.es)**

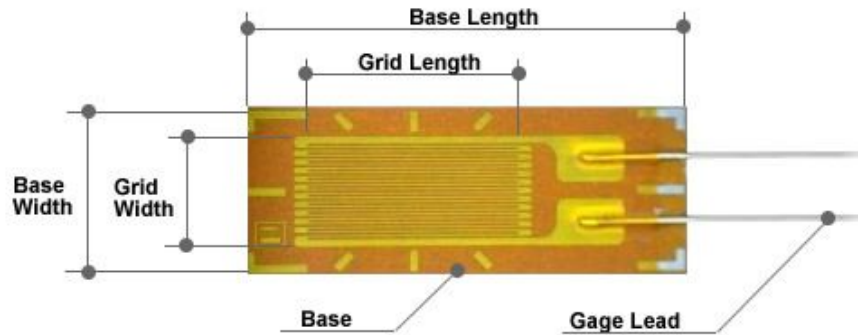


**Figura 9: Esquema e imagen potenciómetro angular**  
<http://psa.swarthmore.edu/>

**Galga extensiométrica:**

*Una galga extensiométrica o extensómetro es un sensor, que mide la deformación, presión, carga, par, posición, etc. y se basa en el efecto piezorresistivo, que es la propiedad que tienen ciertos materiales de cambiar el valor nominal de su resistencia cuando se les somete a ciertos esfuerzos y se deforman en dirección de los ejes mecánicos. Un esfuerzo que deforma la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica. Esta variación se produce por el cambio de longitud, el cambio originado en la sección o el cambio generado en la resistividad.*

**Texto citado de: <https://es.wikipedia.org/>**



**Figura 10: Galga extensiométrica**  
<http://www.showa-sokki.co.jp/>

### Célula de carga:

*Una celda de carga (o célula de carga) es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión es indirecta y se realiza en dos etapas. Mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica. La galga extensiométrica convierte el desplazamiento o deformación en señales eléctricas, que posteriormente cuando han sido analizadas son transformadas a unidades de fuerza otra vez.*

**Texto citado de: <https://es.wikipedia.org/>**



**Figura 11: Célula de carga**  
<http://www.sensores-de-medida.es/>

## 4.3 Child&Adult Headform

### 4.3.1 Información general

Los impactadores de cabeza, simulan la cabeza de los peatones de una forma simbólica, ya que estos no disponen de rasgos faciales como por ejemplo la nariz y la boca. La diferencia entre una cabeza de adulto y una niño, es básicamente el peso total del impactador ya que un adulto al ser de mayor tamaño su cabeza pesa algo más, lo que produce más energía al impactar contra un capó.

Los ensayos de cabeza adulta, suelen ser algo más agresivos, ya que una persona adulta es mucho más alta que y las zonas de impacto en el coche, suelen ser en la parte trasera del capó incluso algunos impactos en la luna del coche, sobre el panel de instrumentos.

### 4.3.2 Morfología de los impactadores

Los impactadores de cabeza, son una semiesfera rígida de aluminio recubiertos por una piel sintética. Ésta piel por especificaciones del fabricante tiene un grosor de  $14 \pm 0.5\text{mm}$ .

Ambas cabezas tienen un peso específico con un margen de tolerancia, en el que tiene que estar contemplado el propio peso del sistema de adquisición de datos. La parte inferior de las cabezas también es una pieza de aluminio, que a la misma vez anclarse con la parte superior de la esfera, es dónde están alojados los sensores.

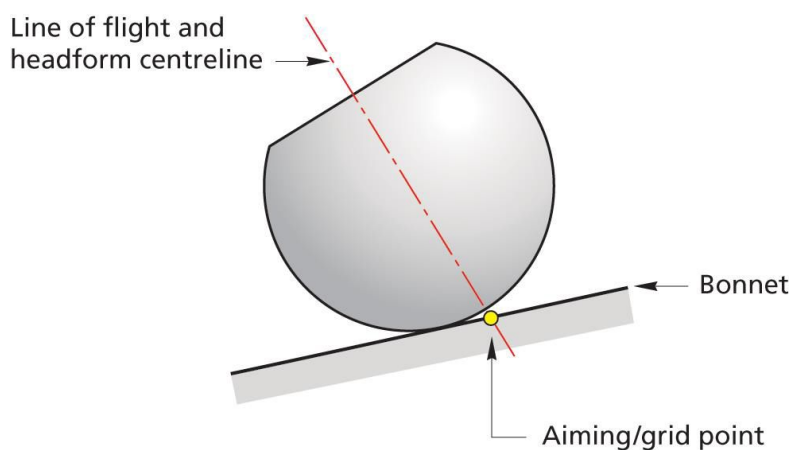
- **AdultHeadform:**  $4.5\text{ kg} \pm 0.01\text{ kg}$
- **ChildHeadform:**  $3.5\text{ kg} \pm 0.07\text{ kg}$

Por el diseño de los impactadores, su centro de gravedad contando absolutamente todos los componentes, está alojado en mismo centro de la esfera, para que el momento de inercia que pasa justo por el eje de simetría, sea perpendicular a la dirección del impacto.



**Figura 12: Impactadores de cabeza adulta y niño**  
Fotografía propiedad de Applus IDIADA

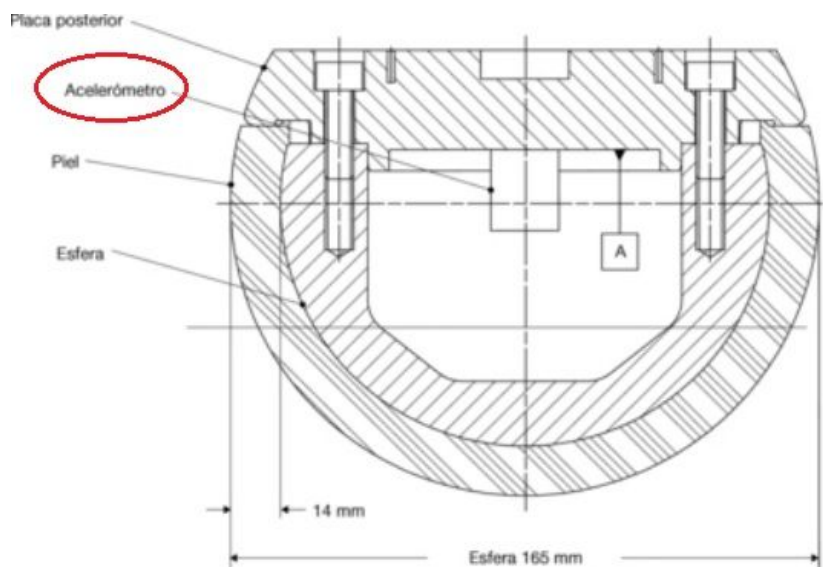
Los impactadores se lanzan a un determinado ángulo y a una determinada distancia contra las partes del coche describiendo un movimiento parabólico a través del aire. El ángulo y la distancia vienen especificados por los diferentes protocolos de ensayo, que han estudiado previamente que sucede mediante un atropello.



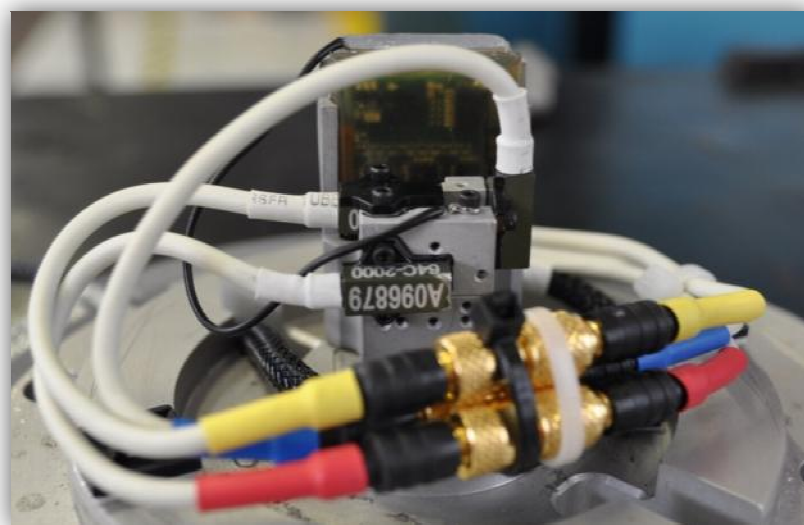
**Figura 13: Esquema de ensayo de cabeza contra capó**  
[www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)

### 4.3.3 Sensores

La instrumentación de las cabezas de peatones, son unas de las más sencillas, ya que solamente cuentan con 3 acelerómetros, uno para cada eje del impacto, situados en la placa inferior de aluminio, quedando así en el interior de la semiesfera.



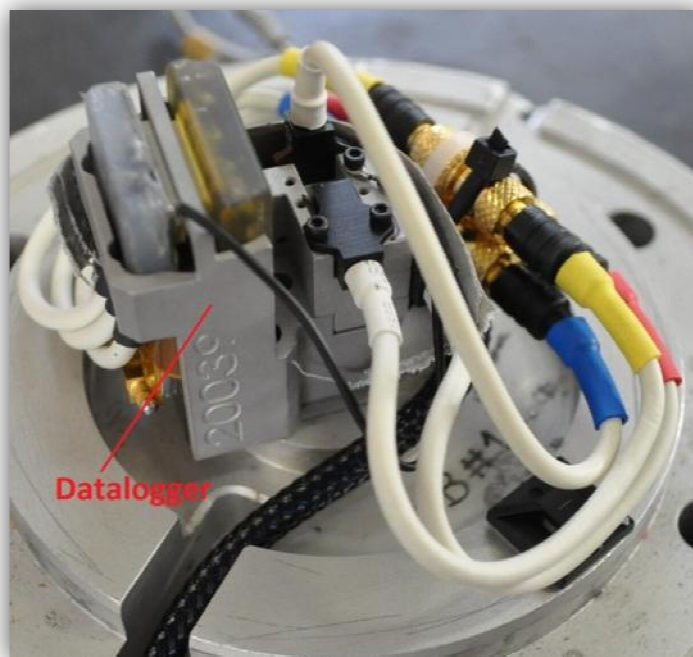
**Figura 14: Plano en sección impactador de cabeza**  
<http://eur-lex.europa.eu>



**Figura 15: Acelerómetros impactador cabeza**  
Fotografía propiedad de Applus IDIADA

#### 4.3.4 Adquisición de datos

La adquisición de datos se hace mediante el datalogger que está indicado en la *Figura 16*. Es un pequeño dispositivo electrónico, que adquiere los datos durante el ensayo y los almacena a la espera de conectar el impactador mediante un cable a un software específico para su descarga.



**Figura 16: Datalogger impactador de cabeza**  
Fotografía propiedad de Applus IDIADA

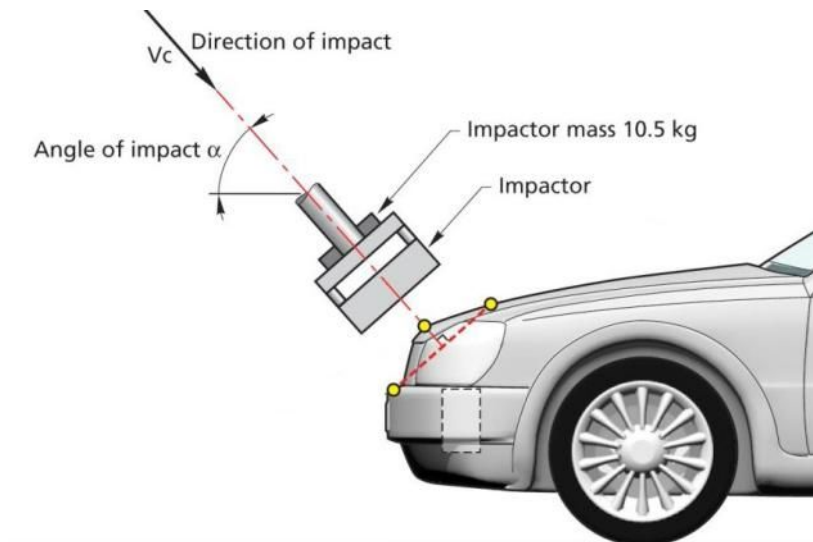
### 4.4 Upper Legform (cadera)

#### 4.4.1 Información general

El impactador de cadera es un elemento rígido que va recubierto con una espuma y una piel de caucho en la parte delantera donde recibe el impacto.

Los ensayos de cadera no se realizan mediante un tiro de vuelo libre, si no directamente guiados desde el sistema de propulsión.





**Figura 17: Upper legform EuroNCAP test**  
[www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)

Los ensayos vienen especificados por las normativas pertinentes, en el caso de la *Figura 17* el peso especificado para la normativa son 10.5 kg totales de peso propulsado para conseguir cierta energía de impacto contra coche, al igual que el ángulo y la velocidad.

#### 4.4.2 Morfología del impactador



**Figura 18: Impactador de cadera**  
Fotografía propiedad de Applus  
IDIADA

El elemento principal de la cadera, es una barra rígida de Ø50mm que es la que transmite gran parte de la energía del impacto a los sensores. Tiene una largada total de 350mm.

Ésta barra esta ensamblada mediante dos tornillos a la parte posterior, que es la que se ancla directamente al sistema de propulsión.

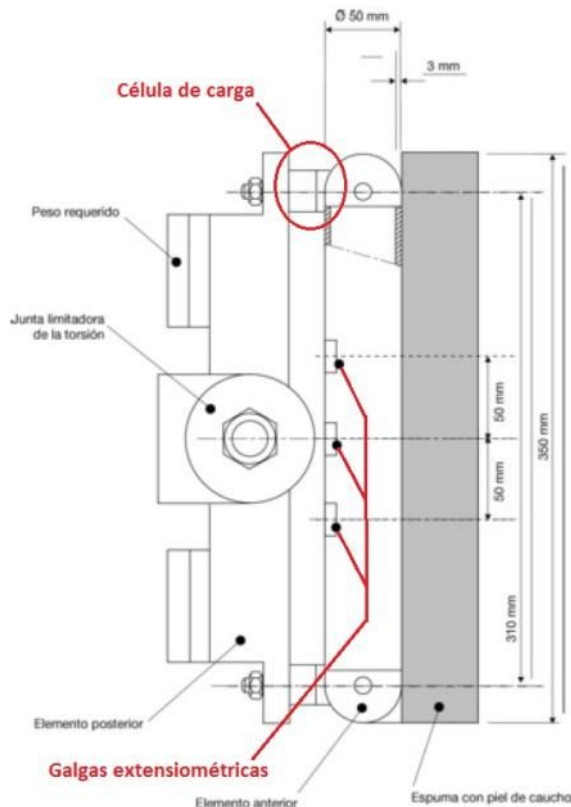
En la parte posterior se puede ajustar mediante placas el peso requerido para realizar los ensayos.

En ésta misma parte, también hay una junta limitadora de torsión. A ambos lados del impactador, hay unos discos de un material a base de ferodo que se atornilla mediante un eje a un par específico, para que aguante un cierto momento torsor, ya que si por algún motivo el impactador recibe una energía del impacto desmesurada, pueda rotar sobre ese eje para no romperse, ni romper tampoco el sistema de propulsión guiado.



**Figura19: Disco ferodo UpperLegform**  
Fotografía propiedad de Applus IDIADA

#### 4.4.3 Sensores & Adquisición de datos



**Figura 20: Sensores Upper Legform**  
<http://eur-lex.europa.eu/>

están conectados a éste módulo (También llamado DAU), y éste está conectado al pc, que mediante un software se capturan los datos del ensayos.

La cadera equipada con varios sensores para hacer diferentes mediciones durante los ensayos.

Está equipada con tres galgas extensiométricas que se encargan de medir los momentos de flexión que se generan mediante el impacto. Las galgas están situadas a cierta distancia que especifica el fabricante.

En ambos extremos tenemos dos células de carga que son las encargadas de medir las fuerzas ejercidas en cada extremo de la cadera.

Las células están instalas con una precarga de montaje para un ajuste optimo y que puedan recibir impactos.

Los datos se adquieren mediante un módulo de adquisición de datos. Los cables de los sensores de la cadera,

## 4.5 Lower Legform TRL

### 4.5.1 Información general



Éste impactador, ya implantado hace años, simula una pierna de un peatón.

Se lanza contra el vehículo mediante un tiro parabólico y una velocidad específica para impactar contra el parachoques.

El impactador está revestido con una espuma que simula la densidad de la masa muscular de la pierna pretendiendo simular la carne con un material equivalente. Ésta espuma está recubierta con una funda de un material similar al neopreno.

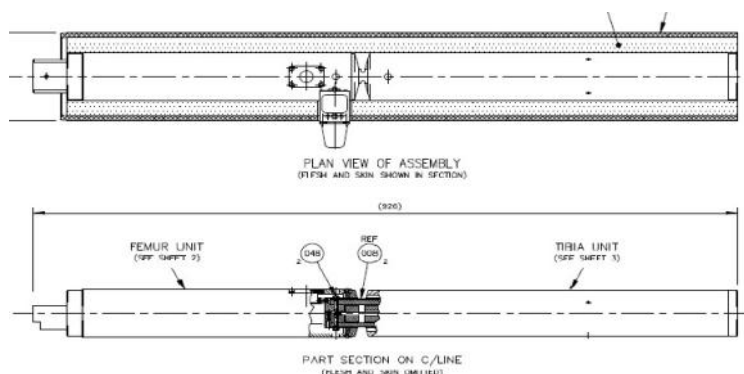
En cada ensayo se sustituye la espuma, ya que normalmente se deteriora debido a los impactos.

La espuma debe de estar bajo unas condiciones específicas que describe el fabricante en el manual del impactador.

**Figura21: Lower Legform TRL**  
www.oasys-software.com

### 4.5.2 Morfología del impactador

Si analizamos internamente este impactador, dado que su instrumentación no es muy numerosa, su funcionamiento mecánico sí que es algo complejo.



**Figura 22: TRL Lowerleg**  
Fotografía User manual TRL

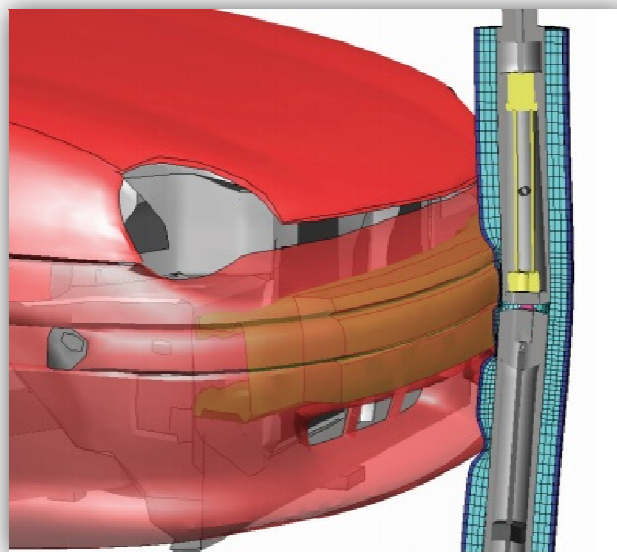
En la ilustración anterior se puede observar el impactador, con la espuma de recubrimiento y la piel de neopreno, y en la parte inferior sin ellas.



**Figura 23: Ligamentos TRL**  
<http://www.trl.co.uk/>

Consta de dos partes, fémur y tibia. Ellas están unidas por unas piezas de una aleación de metal específico que se denominan “ligamentos”. Estas piezas unen tibia y fémur con 4 tornillos también a un par de apriete específico.

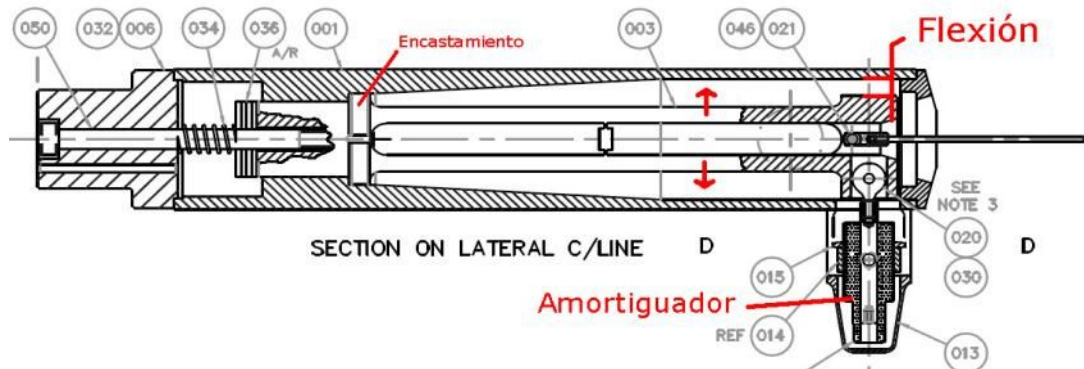
La función de estos ligamentos, dada su forma, es deformarse a partir de cierta fuerza cuando la pierna recibe el impacto contra el coche pretendiendo simular la misma resistencia que los ligamentos de una pierna humana. La deformación producida se transfiere a un movimiento angular de flexión entre la parte del fémur y la tibia.



**Figura 24: TRL impact to bumper**  
[www.oasys-software.com](http://www.oasys-software.com)

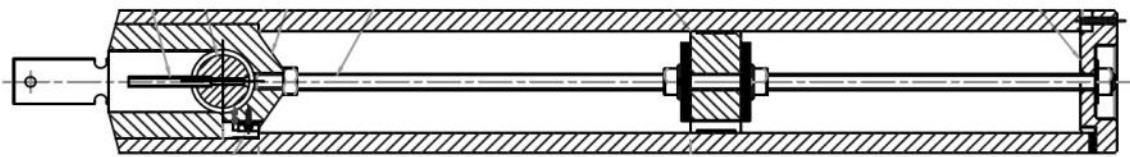
Si seccionamos la parte del fémur, vemos que dentro del cilindro, hay otra pieza en el interior que, junto con un amortiguador, es capaz de moverse en el interior con cierta flexión. Éste diseño es porque, gracias a él y un sensor se puede medir

la distancia de “cizalla” que tendrían nuestros ligamentos al ser atropellados por un coche.



**Figura25: Sección fémur**  
Fotografía User manual TRL

La sección de la tibia, es mucho más sencilla que la sección del fémur. Esta parte es totalmente rígida y cuenta con un eje central y un peso añadido para compensar el centro de gravedad de toda la pierna.

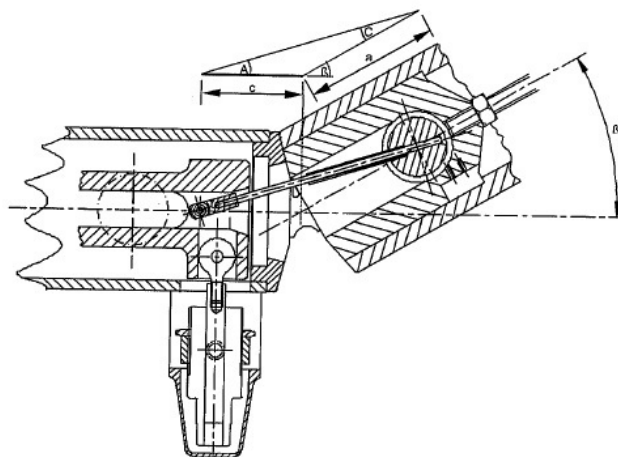


**Figura 26: Sección fémur**  
Fotografía User manual TRL

#### 4.5.3 Sensores & Adquisición de datos

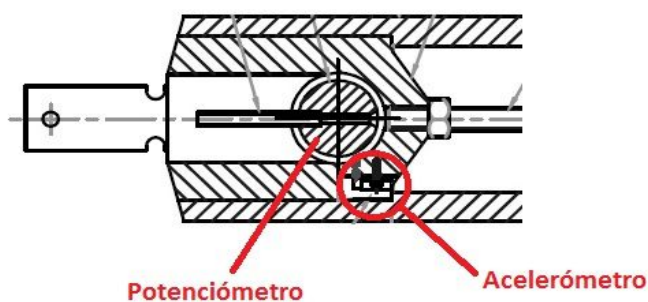
La pierna está instrumentada solamente con tres sensores. Dos potenciómetros angulares, y un acelerómetro.

Uno de los potenciómetros alojado en la parte final del fémur se encarga de medir el ángulo que se crea debido al impacto entre la tibia y el fémur.



**Figura 27: Sección fémur**  
Fotografía User manual TRL

El otro potenciómetro y el acelerómetro están en la parte del fémur, alojados cerca de los ligamentos.



**Figura 28: Sección fémur**  
Fotografía User manual TRL

Por otro lado la adquisición de datos se realiza mediante cables salidos directamente desde los sensores a una estación de adquisición de datos DAU conectado a un PC que lo gestiona por el software pertinente.



## 4.6 FLEX-Pli GTR (Flexible Pedestrian Legform Impactor GTR: Global Technical Group)

### 4.6.1 Información general

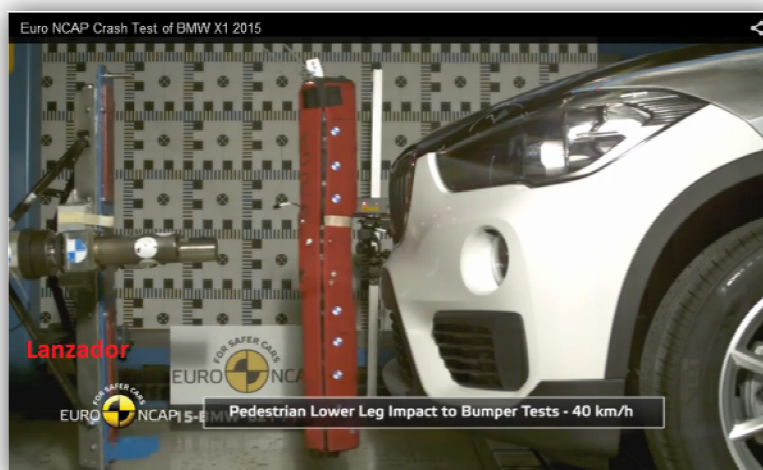


La FLEX-Pli GTR es por el momento el impactador que simula la pierna humana de la manera más fiel posible, por el momento, ya que su biomecánica y la repetitividad de la sensórica en los ensayos están muy ajustadas a la realidad.

Todo son ventajas respecto a su antecesora **TRL**, ya que cuenta con flexibilidad total en el impacto, y un total de 12 sensores contra los solamente 3 de la **TRL**.

**Figura 29: FLEX-Pli GTR impactor 3D**  
[www.unece.org](http://www.unece.org)

Este tipo de impactador, como todos los utilizados en protección de peatones, se lanzan a una determinada velocidad, distancia y tiro parabólico contra el coche.



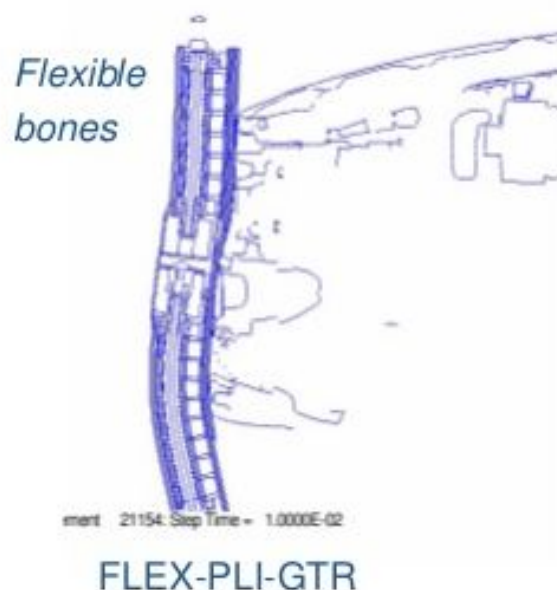
**Figura30: Ensayo Flex-Pli**  
[www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)



## 4.6.2 Morfología del impactador

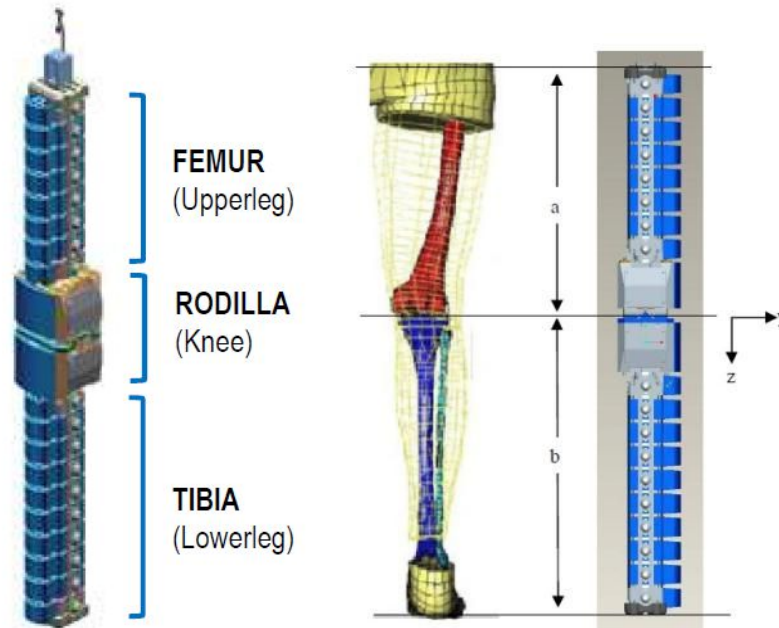
### 4.6.2.1 Fémur & Tibia

Como su nombre bien lo indica, la peculiaridad de la FLEX-PLi GTR es que es flexible, esto quiere decir que intenta plasmar en un ensayo que podamos realizar en un vehículo la flexibilidad de los huesos, músculos y ligamentos de la pierna propias del cuerpo humano.



**Figura31: FLEX-PLi GTR vehicle test**  
<http://www.slideshare.net/AltairHTC>

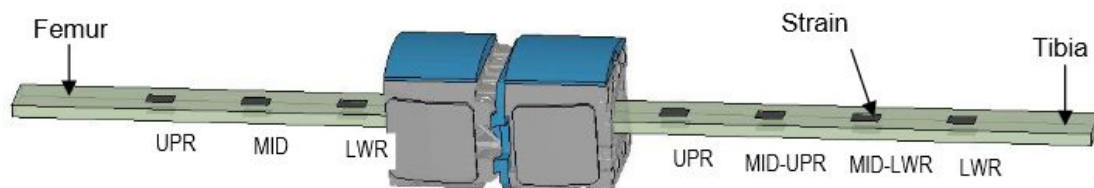
El impactador tiene 3 partes bien diferenciadas que hacen referencia a la pierna humana. Estas partes son el fémur, la rodilla, y la tibia.



**Figura 32: Morfología FLEX-Pli GTR**  
<http://www.slideshare.net/AltairHTC>

Cómo se puede apreciar en las figuras, la dirección de impacto de la pierna simula una pierna humana de perfil lateral, como es normal en la mayoría de los atropellos que se dan en la vida real.

Partiendo desde el interior de la pierna, los núcleos del fémur y la tibia están hechos de fibra de vidrio plástica reforzada. Este tipo de material ha sido desarrollado para usarlo como el núcleo del hueso.

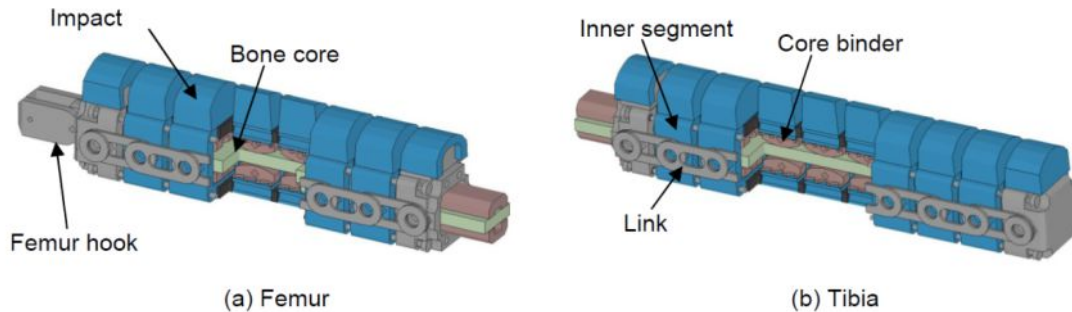


**Figura 33: Flex-pliBoneassembly**  
<http://www.slideshare.net/AltairHTC>

Las siguientes figuras muestran una sección parcial de tibia y fémur, con la única diferencia estructural es su largada total y sus segmentos.

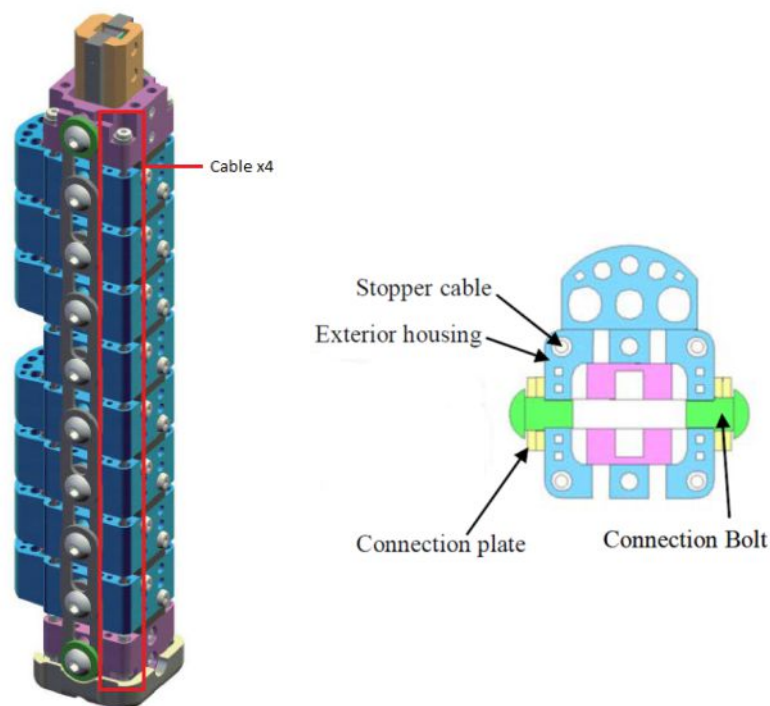
Como se aprecia en la figura, el núcleo del hueso se asiente entre lo que se denomina segmentos, simplemente unas piezas de material compuesto a base de nylon diseñado a medida con las características óptimas para realizar este tipo de ensayos.

Unas piezas un poco más grandes, del mismo material, están sujetas a los segmentos y son las encargadas de absorber parte de la carga durante el ensayo.



**Figura34: FLEX-Pli GTR Tibia&Femur**  
<http://www.slideshare.net/AltairHTC>

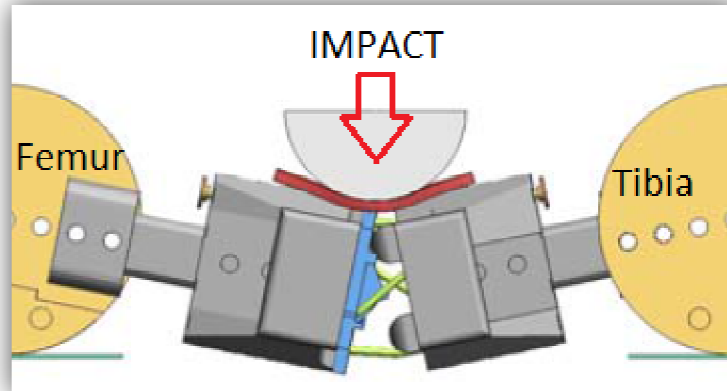
Toda ella está unida por las piezas llamadas “links” y entre ellas también hay unos cables trenzados de acero que su función es no dejar que la pierna llegue al límite de flexión.



**Figura 35: Flex-pli cable Assembly**  
 Fotografía de Flex-Pliuser manual

#### 4.6.2.2 Rodilla (Knee assembly)

La rodilla es una de las partes más complejas de la pierna, ya que se compone de dos partes que varían parte de su geometría para hacer flexionar la pierna desde el centro.



**Figura36: Flex-pli Knee Bending**  
Fotografía de Flex-Pliuser manual

Ambas partes en sí, son muy iguales lo que cambia su parte superior de contacto para que esta pueda pivotar.

En la rodilla tenemos 4 sensores que simulan los ligamentos y también estos tienen unos cables trenzados para limitar el movimiento de flexiones máximas del impactador, además ayudadas de un conjunto de muelles para el retorno a la posición inicial.

#### 4.6.3 Sensores

La instrumentación básica de la pierna son 12 sensores colocados en lugares específicos para medir diferentes parámetros durante el ensayo.

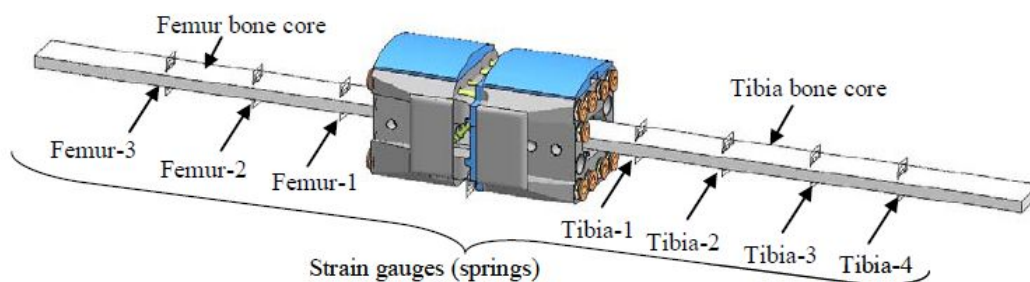
La aceleración de la tibia se mide con un acelerómetro, los momentos flectores de tibia y fémur se miden con 4 potenciómetros y elongaciones de los ligamentos de la rodilla con 7 galgas con extensiométricas.

Instrument Channels	Purpose	Standard	DAS
Femur moment 1,2 and 3	-	3	Standard Option iDummy
Tibia moment 1,2,3 and 4	Injury Assessment	4	
Tibia top acceleration ax	-	1	
MCL elongation	Injury Assessment	1	
ACL elongation	Monitoring	1	
PCL elongation	Monitoring	1	
LCL elongation	-	1	
	<b>Total</b>	<b>12</b>	

**Figura37: Flex-pli Channel instrumentation**  
Fotografía de Flex-Pliuser manual

La posición de estos sensores intentan acercarse lo mejor que se puede a la realidad, como por ejemplo, los potenciómetros que miden la posición de los ligamentos están situados de la misma forma que en una rodilla.

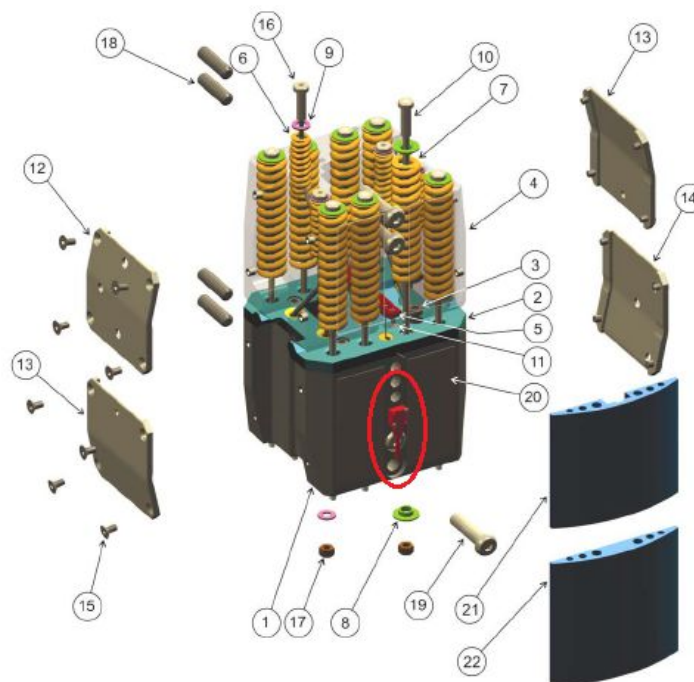
En las figuras siguientes se pueden apreciar la ubicación y posición de estos sensores.



**Figura38: Flex-pli Strain Gauges**  
Fotografía de Flex-Pliuser manual

Las galgas están situadas en el “bonecore”, que es la parte central de la pierna que simula el hueso de la pierna. Hay 3 para la parte superior del fémur, y 4 para la parte inferior de la tibia.

Luego tenemos un acelerómetro situado en la parte inferior de la rodilla, la que conecta con la tibia, este siempre mide solamente en el eje de la dirección del impacto. En la siguiente imagen se puede apreciar una vista explosionada de la rodilla donde se ve el acelerómetro.



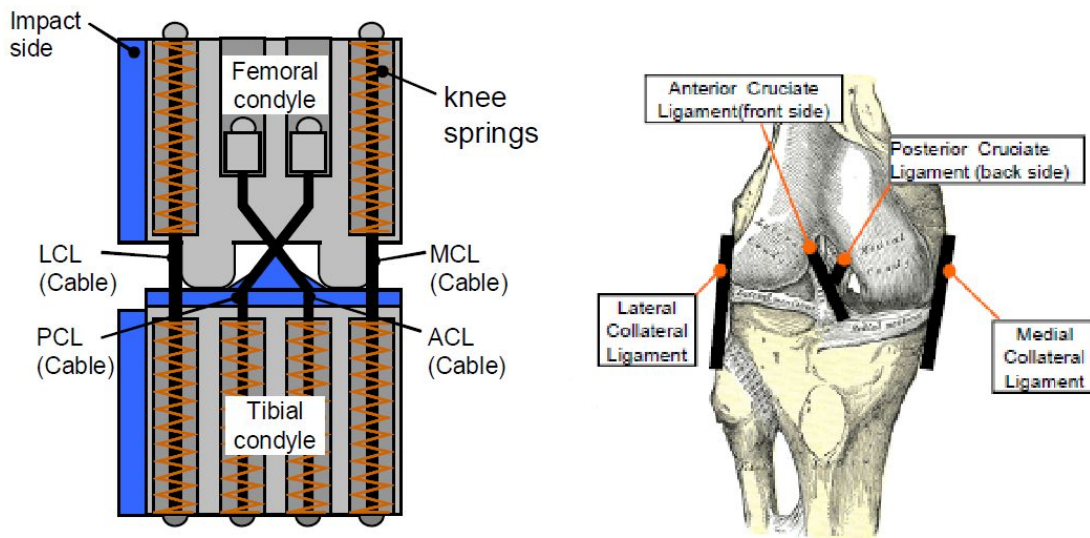
**Figura39: Flex-pii vista explosionada de la rodilla**  
Fotografía de Flex-Pliuser manual

Los 4 sensores restantes, son que están en lugar de los ligamentos. Estos están colocados de la misma manera que unos ligamentos reales.

Los potenciómetros son los encargados de medir lo que se puedan alargar o encoger durante un ensayo. Esto es muy importante ya que por estadística, y comparándolos con unos ligamentos reales, se realiza en impacto en el coche y se busca que el diseño de éste, haga que esos valores no sobrepasen unos ciertos valores para causar el menor daño posible.

En la siguiente tabla, se observa el nombre de los ligamentos y los denominados por el fabricante de la FLEX\_Pii GTR.

Ligamento	FLEX-Pii GTR	Siglas
Cruzado posterior	Posterior cruciate	PCL
Cruzado anterior	Anterior cruciate	ACL
Lateral externo	Lateral collateral	LCL
Lateral interno	Medial collateral	MCL



**Figura40: Ligamentos en pierna humana y FLEX-Pli GTR**  
Fotografía de Flex-Pliuser manual

#### 4.6.4 Adquisición de datos

La adquisición de datos de la FLEX-Pli GTR se hace mediante **DAUS “Data Adquisition Unit System”** o también denominados **Dataloggers**.

Hay varias opciones para configurar la adquisición de datos y varios tipos diferentes, cuando se pide al fabricante que nos fabrique una FLEX-Pli, pero sin entrar demasiado en detalle de cómo funciona este equipo electrónico, solo lo veremos por encima.

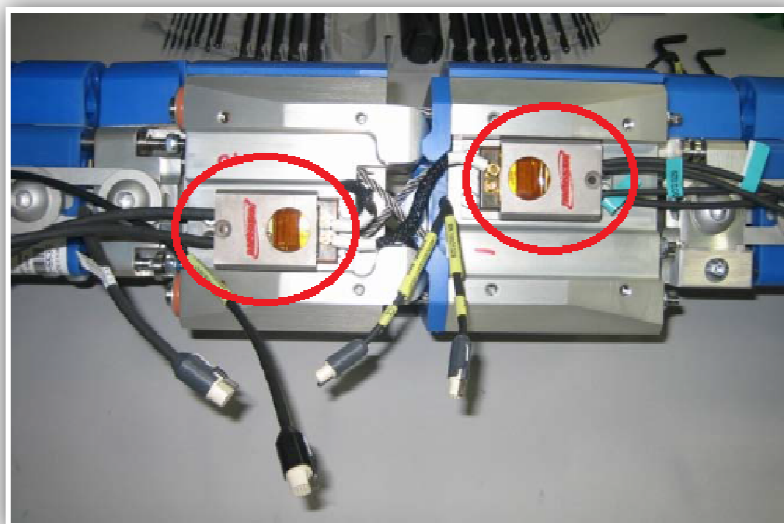
Nuestra FLEX-Pli cuenta con 2 **dataloggers**, uno para los sensores de la parte superior de la pierna (fémur) y otro para la parte inferior de la pierna (tibia).

Estos dos dataloggers están conectados entre ellos, además de un cable que sale hacia el exterior de la pierna y las pieles con un conector rápido que va hacia un ordenador para adquirir los datos.

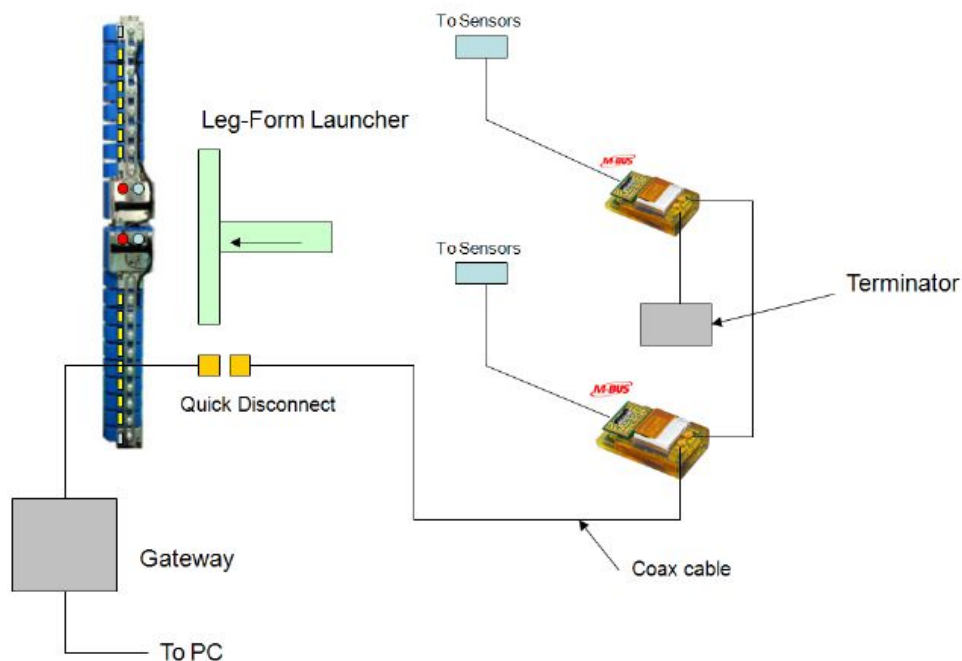
La peculiaridad de estos **dataloggers** es que tienen una pequeña batería, y puede adquirir los datos sin necesidad de que esté conectado directamente al pc, esto se consigue varios segundos antes del ensayo, armando los dataloggers desde el ordenador y que la Flex-Pli, al iniciar su vuelo libre para impactar contra el coche, se desconecta mediante un conector rápido, facilitando así que no se rompa ningún cable de ningún sensor.



En las figuras mostradas a continuación se pueden observar ambos dataloggers ensamblados en la rodilla, y el esquema de conexiones para un ensayo.

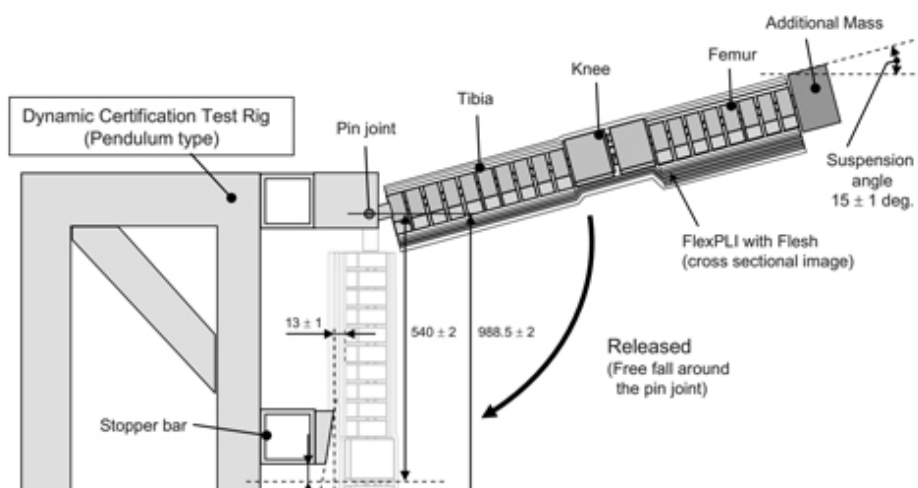


**Figura41: Flex-pli Dataloggers**  
Fotografía de Flex-Pliuser manual



**Figura 42: Sistema de conexión para ensayo Flex-pli**  
Fotografía de Flex-Pliuser manual





# 05

## Estudio previo: Procesos de calibración

## 5. ESTUDIO PREVIO: PROCESOS DE CALIBRACIÓN SEGÚN ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE

Todos los impactadores, ya sean de un fabricante u otro, cuentan con diversas pruebas que han sido definidas de manera que, el usuario de los impactadores sea capaz de autocertificar mediante ensayos de validación que están funcionando correctamente.

Con esto se pretende que, si mediante alguno de estos ensayos no sale correctamente, el laboratorio sea capaz de detectarlo y tomar las medidas necesarias al respecto.

Todos los ensayos, están regulados o bien bajo una normativa en concreto, o por el propio fabricante de los impactadores, que define estos procesos al haber desarrollado los impactadores conocen exactamente todo su funcionamiento y los parámetros óptimos de funcionamiento.

En los siguientes apartados, solo se mencionarán los aspectos que sean necesarios para el desarrollo de la estación de calibración, ya que las indicaciones de calibraciones son bastante extensas, de todas maneras se podrán consultar en los anexos del proyecto.

Absolutamente para todo los impactadores se ha de cumplir esta condición:

- ❖ En el momento del ensayo, los impactadores habrán de estar a una temperatura de  $20 \pm 2$  °C y una humedad relativa de  $40 \pm 30$  %.

### 5.1 Calibración Headforms

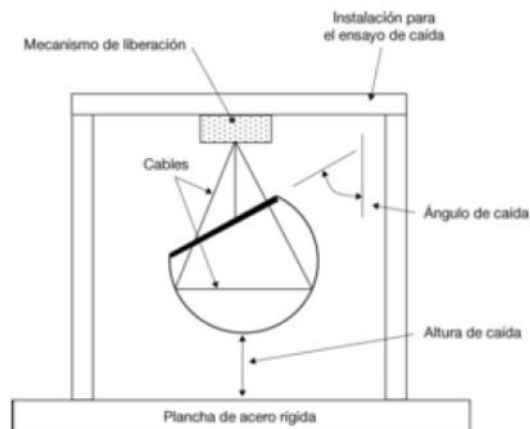
La calibración de los impactadores de cabeza se rigen bajo la normativa *Reg EC 631\_2009* donde se describen todos los requisitos y se especifican los aspectos de los ensayos de calibración.

#### 5.1.1 Requisitos de ensayo

- ❖ El impactador se podrá usar después de su certificación en 20 ensayos de impacto como máximo.

### 5.1.2 Calibración dinámica

- ❖ Los impactadores de cabeza se dejan caer desde una altura de  $376 \pm 1$  mm conforme se puede apreciar en la *Figura 43*.
- ❖ El impactador simulador de cabeza se dejará caer desde la altura especificada de forma que se asegure un impacto inmediato contra una plancha de acero plana y horizontal con un soporte rígido de más de 50 mm de grosor  $300 \times 300$  mm de superficie limpia y seca con un acabado entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $2,0 \mu\text{m}$ .
- ❖ El impactador se dejará caer de forma que su parte posterior plana forme los siguientes ángulos respecto a al plano horizontal:
  - $50^\circ \pm 2^\circ$  para el impactador de cabeza de niño.
  - $65^\circ \pm 2^\circ$  para el impactador de cabeza de adulto.
- ❖ El impactador estará suspendido de tal manera que no se produzca rotación durante la caída.
- ❖ El ensayo de caída se efectuará 3 veces. Entre los ensayos se hará girar  $120^\circ$  alrededor de su eje de simetría.



**Figura 43: Estructura de calibración para impactadores de cabeza**  
Reg. EC 631\_2009

## 5.2 Calibración Upper Legform

La calibración del impactador de cadera se rige bajo la normativa *Reg EC 631\_2009* dónde se describen todos los requisitos y se especifican los aspectos de los ensayos de calibración.

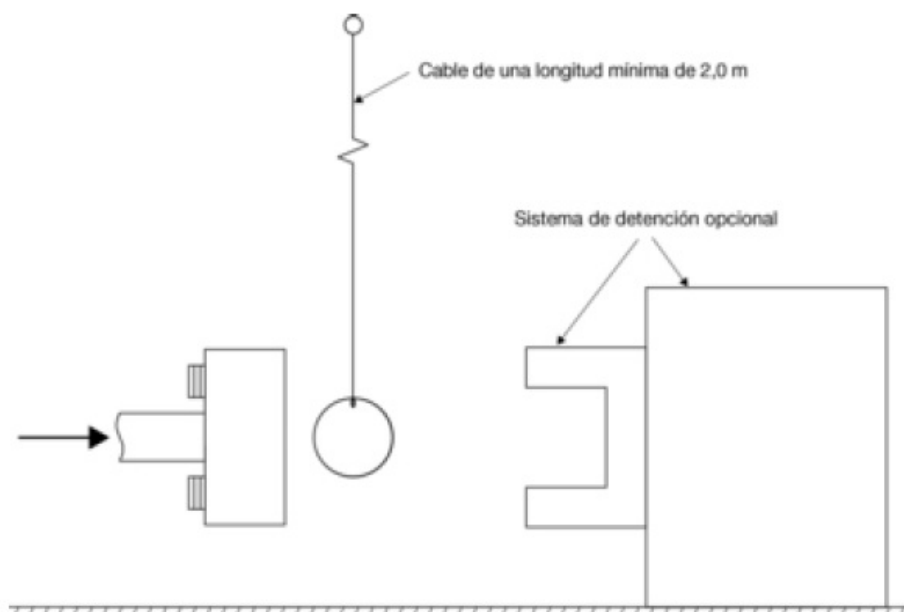
### 5.2.1 Requisitos de ensayo

- ❖ Se ha de impulsar el impactador contra un péndulo cilíndrico estacionario, la fuerza máxima registrada en cada célula de carga no será inferior a 1,20kN ni superior a 1,55 kN, y la diferencia entre las fuerzas máximas registradas en las células de carga superior e inferior no será superior a 0,10 kN. Además, el momento máximo de flexión registrado por los extensómetros no será inferior a 190 Nm ni superior a 250 Nm en la posición central, y no será inferior a 160 Nm ni superior a 220 Nm en las posiciones externas. La diferencia entre los momentos máximos de flexión superior e inferior no sobrepasará los 20 Nm.
- ❖ La calibración se realizará cada 20 ensayos de vehículo.

### 5.2.2 Calibración dinámica

- ❖ El sistema de guía irá equipado con guías de baja fricción que, cuando el impactador entre en contacto con el péndulo, solo le permitan moverse en la dirección de impacto especificada.
- ❖ La masa total del impactador, incluidos los elementos de propulsión y guía que formen parte integrante del mismo durante el impacto, será de **12 kg ± 0,1 kg**.
- ❖ El impactador, con el elemento anterior en posición vertical, se impulsará horizontalmente a una velocidad de **7,1 ± 0,1 m/s** contra el péndulo estacionario, como muestra la *Figura 44*.
- ❖ El tubo del péndulo tendrá una masa de  $3 \pm 0,03$  kg, un diámetro exterior de 150 mm +1mm/-4mm y un grosor de pared de  $3 \pm 0,15$  mm. Su longitud total será de  $275 \pm 25$  mm. Este tubo deberá ser de acero acabado en fríosin soldadura (podrá llevar un baño metálico superficial contra la corrosión), con un acabado de la superficie externa superior a 2,0 µm. Se

suspenderá mediante dos cables metálicos de  $1,5 \pm 0,2$  mm de diámetro y 2,0 m de longitud mínima.



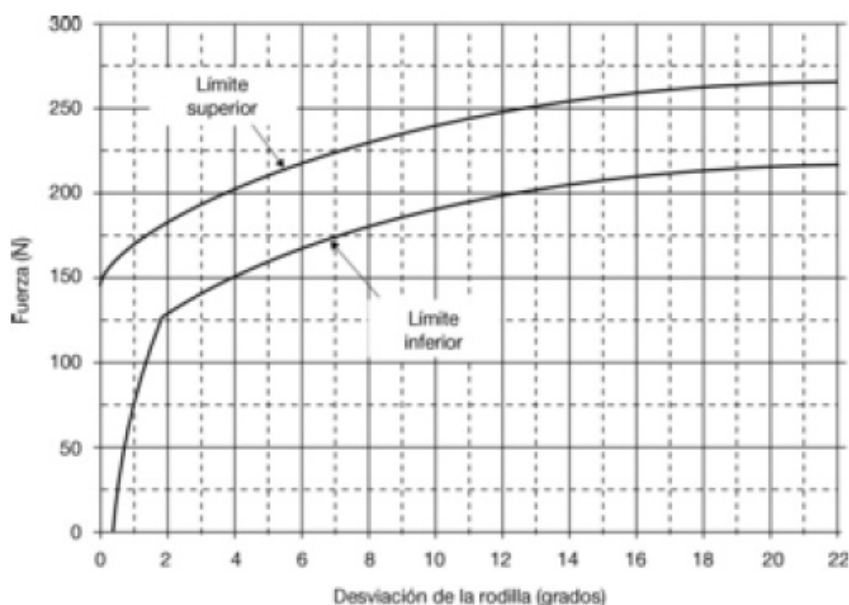
**Figura 44: Procedimiento ensayo impactador de cadera**  
Reg. EC 631\_2009

### 5.3 Calibración Lower Legform TRL

La calibración del impactador de pierna se rige bajo la normativa *Reg EC 631\_2009* dónde se describen todos los requisitos y se especifican los aspectos de los ensayos de calibración.

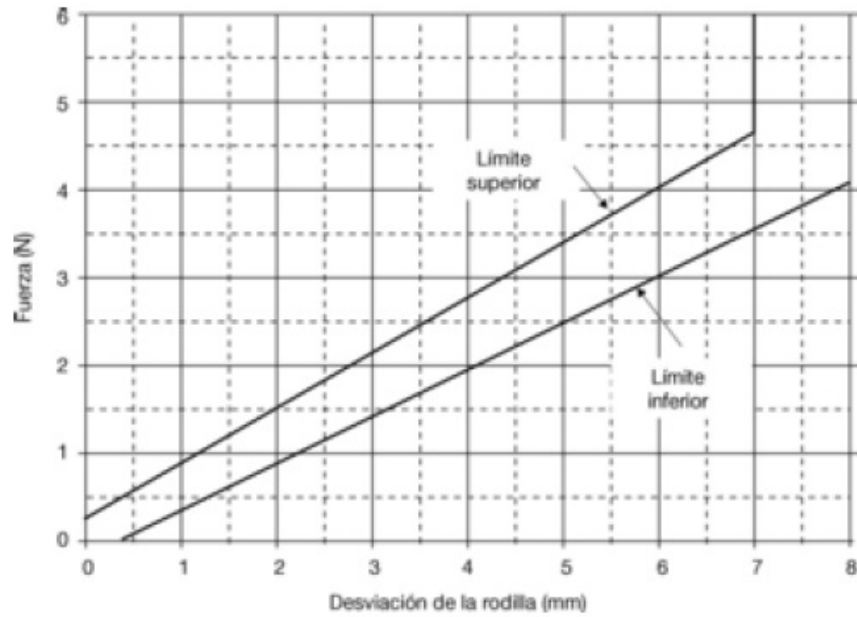
#### 5.3.1 Calibración Estática (flexión y cizalladura)

- ❖ Al aplicar la carga de flexión de acuerdo con el punto, la fuerza aplicada y el ángulo de flexión resultante estarán dentro de los límites indicados en la *Figura 45*. Asimismo, la energía liberada para generar una flexión de  $15,0^\circ$  deberá ser de  $100 \pm 7$  J.



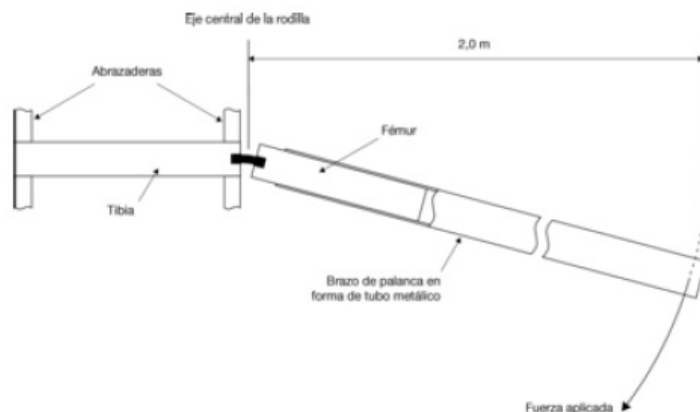
**Figura 45: Gráfico de relación fuerza-ángulo para ensayos estáticos**  
Reg. EC 631\_2009

- ❖ Al aplicar la carga de cizalladura de acuerdo con el punto, la fuerza aplicada y el desplazamiento de cizalladura resultante estarán dentro de los límites indicados en la *Figura 46*.



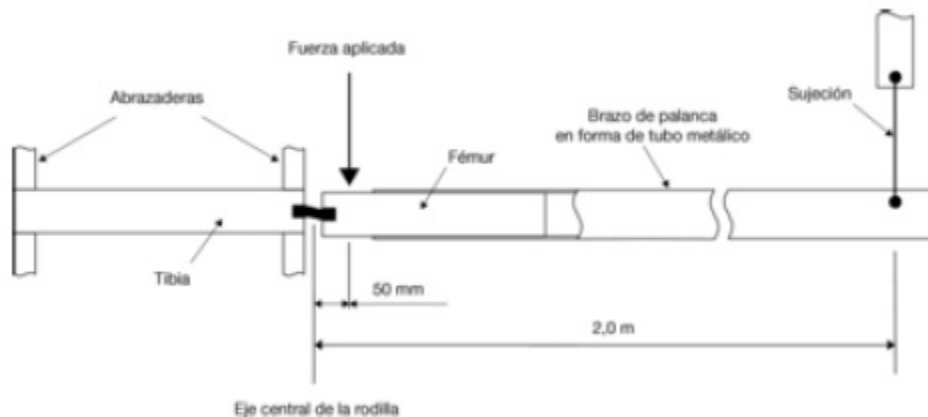
**Figura 46: Gráfico relación fuerza-desplazamiento para ensayos estáticos**  
Reg. EC 631\_2009

- ❖ El impactador simulador de pierna, sin revestimiento de espuma ni piel, deberá montarse con la tibia sujeta firmemente mediante abrazaderas sobre una superficie horizontal fija y con un tubo de metal firmemente ensamblado en el fémur, como muestra la *Figura 47*. El eje de rotación de la articulación de rodilla del impactador estará en posición vertical. Para evitar errores de fricción, no se proporcionará ningún soporte ni a la sección femoral ni al tubo de metal.



**Figura 47: Vista superior de certificación de flexión**  
Reg. EC 631\_2009

- ❖ Se aplicará una fuerza horizontal normal al tubo de metal a una distancia de  $2,0 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$  del centro de la articulación de rodilla, y se registrará el ángulo de desviación de la rodilla resultante



**Figura 48: Vista superior de certificación de cizalla**  
Reg. EC 631\_2009

- ❖ Se aplicará una fuerza horizontal normal al fémur a una distancia de 50 mm del centro de la articulación de rodilla, y se registrará el desplazamiento de cizalladura de la rodilla resultante.

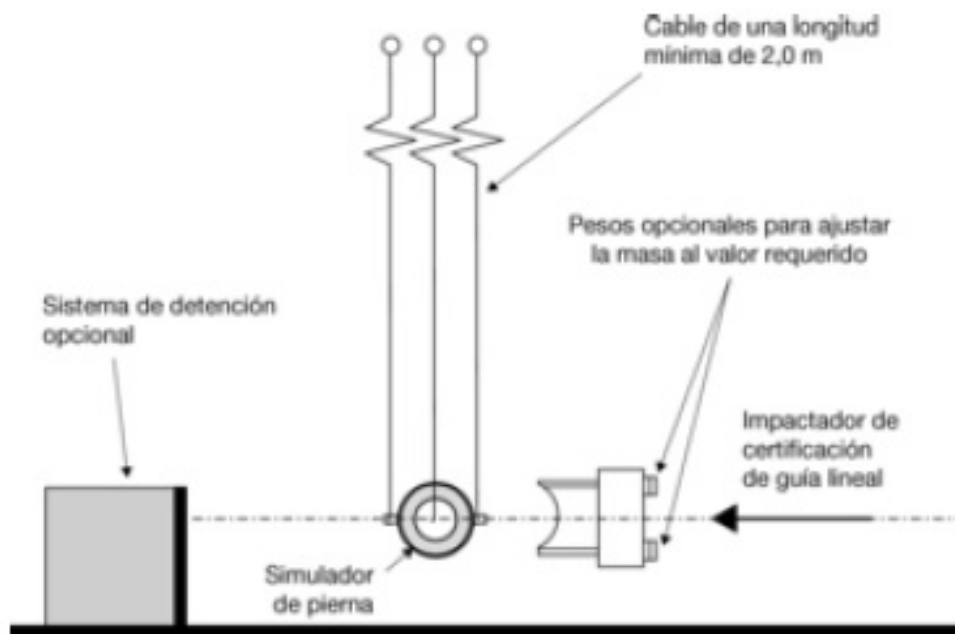
### 5.3.2 Calibración Dinámica

- ❖ El impactador, incluidos el revestimiento de espuma y la piel, se suspenderá horizontalmente mediante tres cables metálicos de  $1,5 \pm 0,2 \text{ mm}$  de diámetro y  $2,0 \text{ m}$  de longitud mínima, como muestra la *Figura 49*.
- ❖ Su eje longitudinal estará suspendido en posición horizontal, con un margen de tolerancia de  $\pm 0,5^\circ$ , y perpendicular a la dirección del movimiento del impactador de certificación, con un margen de tolerancia de  $\pm 2^\circ$ .
- ❖ La masa del impactador de certificación, incluidos los elementos de propulsión y guía que formen parte integrante del mismo durante el impacto, será de  $9,0 \pm 0,05 \text{ kg}$ . Las dimensiones de la cara del impactador

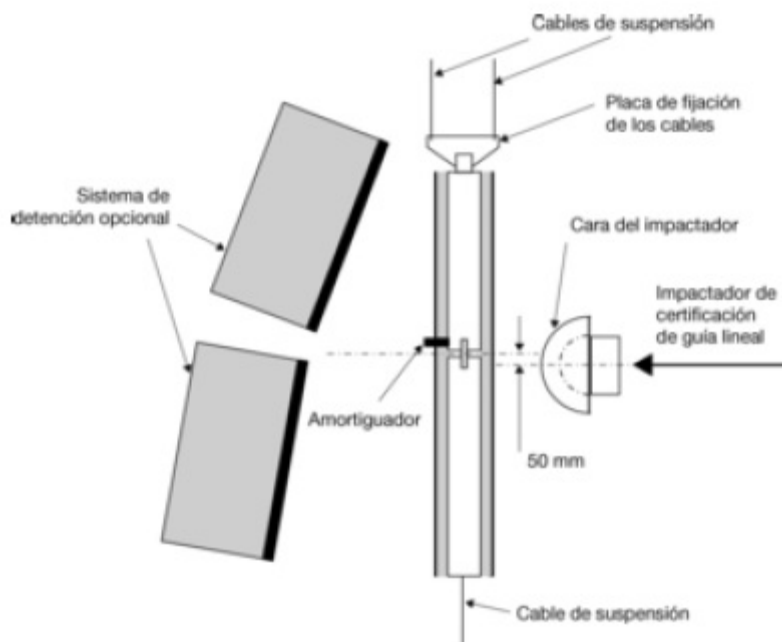


de certificación serán las especificadas en la *Figura 51*. La cara del impactador de certificación será de aluminio, con un acabado de la superficie externa superior a  $2,0\text{ }\mu\text{m}$ .

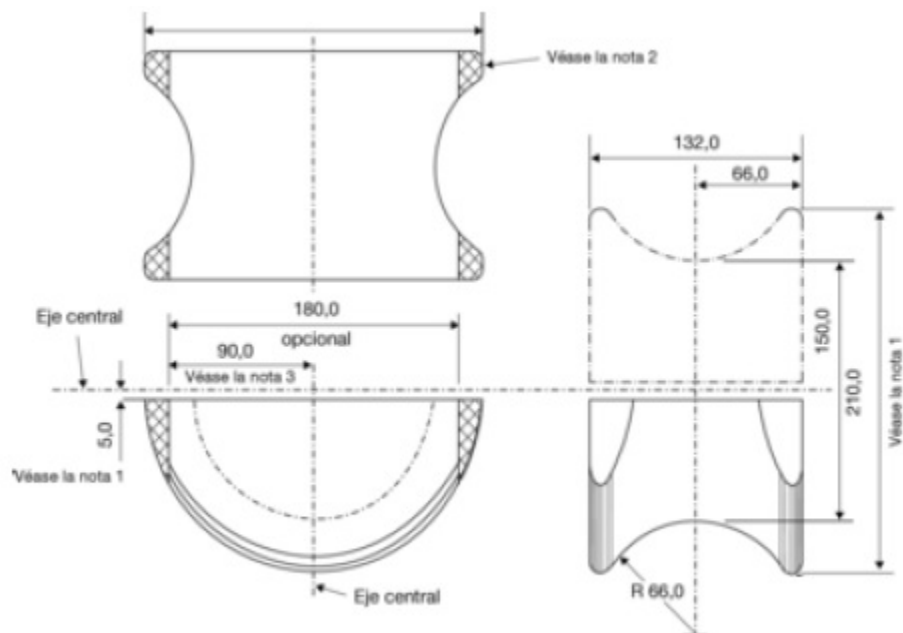
- ❖ El sistema de guía estará equipado con guías de baja fricción, insensibles a las cargas fuera de eje, que permitan que, al entrar en contacto con el vehículo, el impactador se mueva únicamente en la dirección de impacto especificada cuando entre en contacto con el impactador simulador de pierna.
- ❖ El impactador de certificación se impulsará horizontalmente a una velocidad de  $7,5 \pm 0,1\text{ m/s}$  contra el impactador estacionario, como muestra la *Figura 49*. El impactador de certificación se colocará de forma que su línea central coincida con un punto en la línea central de la tibia situado a 50 mm del centro de la rodilla, con márgenes de tolerancia de  $\pm 3\text{ mm}$  tanto lateral como verticalmente.



**Figura 49: Vista lateral certificación dinámica TRL**  
Reg. EC 631\_2009



**Figura 50: Vista superior certificación dinámica TRL**  
Reg. EC 631\_2009



**Figura 51: Detalles impactador de certificación**  
Reg. EC 631\_2009

## 5.4 Calibración FLEX-PLI GTR

La FLEX-PLI GTR requiere de nueve procedimientos diferentes para poder calibrarse y certificar con seguridad que todos los componentes y sensores trabajan correctamente.

Todos estos procesos han sido desarrollados en gran parte por Humanetics, que es la empresa responsable de la fabricación y el diseño del impactador.

En la siguiente tabla se puede observar los pasos a seguir para las calibraciones, y cada cuanto tiempo son necesarias.

Step	Description	When Required	Pass-Fail Requirement
0a	Femur Gauge Calibration	1. Annually, recommended 2. After exceeding injury thresholds for FLEX-GTR in an application test, recommended	1. $\pm 1.0\%$ linearity full scale 2. $\pm 2.0\%$ hysteresis full scale all gauges
0b	Tibia Gauge Calibration		
0c	String Potentiometer Calibration	1. Annually	$\pm 1.0\%$ (VRCI-P-100A. <sup>1</sup> )
0d	Accelerometer Calibration	1. Annually	1. $\pm 1.0\%$ linearity full scale
1a	Femur Assembly Bending Test	1. Annually recommended 2. After exceeding injury thresholds, recommended 3. After maintenance and/or component exchange, recommended	1. Femur centre bending moment-deflection corridor 2. Tibia centre bending moment-deflection corridor
1b	Tibia Assembly Bending Test		
2	Knee Assembly Bending Test	1. Annually recommended 2. After exceeding injury thresholds, recommended 3. After maintenance and/or component exchange, recommended	1. Bending moment - MCL elongation corridor 2. ACL and PCL elongation - force corridors
3	Dynamic Pendulum Impact	1. Annually 2. After 10 vehicle tests max 3. After exceeding injury thresholds 4. After maintenance and/or component exchange	1. Peak bending moment tibia 1, tibia 2, tibia 3 and tibia 4 2. peak elongation MCL, PCL, ACL
4	Dynamic Linear Guided Impact	1. Annually 2. After 30 vehicle tests 3. Prior to homologation tests 4. After exceeding injury thresholds 5. After maintenance and/or component exchange	1. Peak bending moment tibia 1, tibia 2, tibia 3 and tibia 4 2. Peak elongation MCL, PCL, ACL

**Figura52: Calibration Schedule**  
Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9

Por el momento, si analizamos esta información, podemos ver que hay dos tipos de ensayos dinámicos.

Nos centraremos solamente en los **step 3 y 4** que son solamente los únicos dos que se realizan en el laboratorio, aunque en un futuro no se descarta adquirir los equipos necesarios para llevar a cabo todas las demás pruebas.

Si nos fijamos en el **Pendulum Impact**, vemos que es cada 10 ensayos, y el Dynamic Linear Guided cada 30.

Obviamente, lo que es inviable es enviar el impactador a calibrar cada 10 ensayos al fabricante ya que es un gasto enorme además de no disponer del impactador durante unas semanas.

Dado que en el laboratorio se hacen una media de 25-30 ensayos semanales se descarta totalmente la opción mencionada antes.

La solución al problema, fue realizar las calibraciones menos “exigentes” en el mismo laboratorio, y las más complejas y con periodicidad anual, enviarlas al fabricante.

Ambas calibraciones dinámicas no son más que “comprobaciones” que se realizan para certificar que los valores que se obtienen de los sensores están dentro de los valores que nos indica el fabricante.

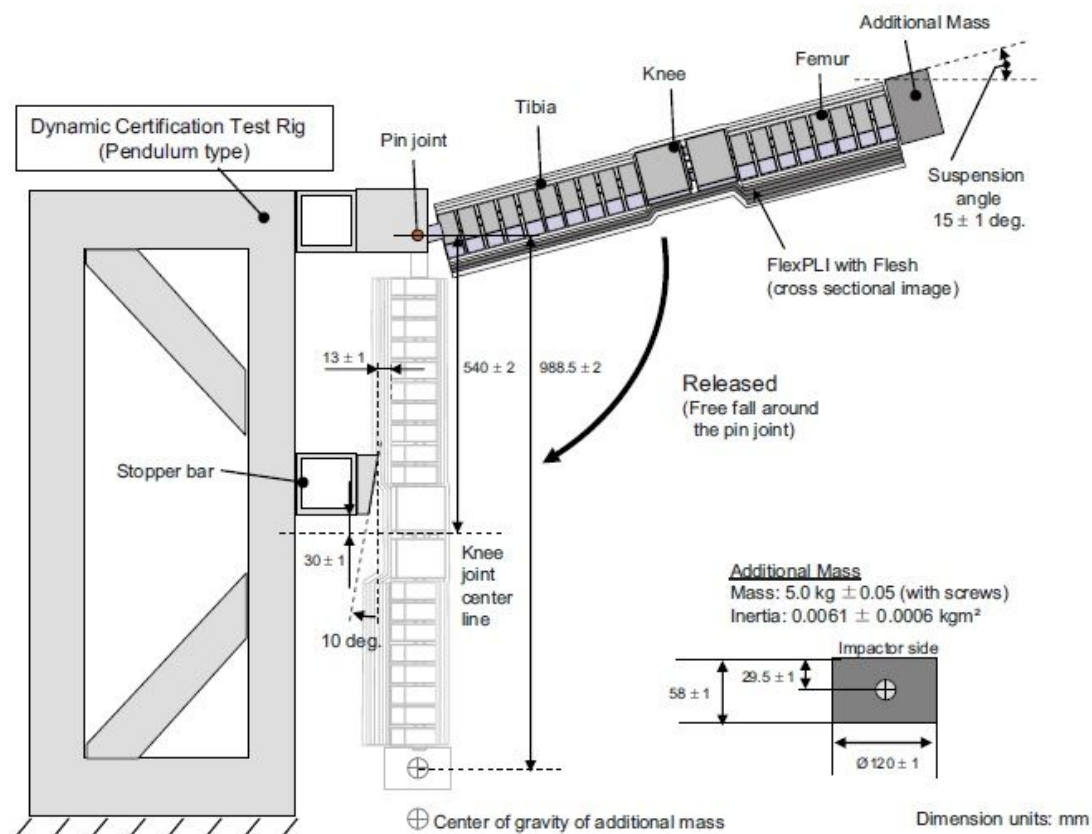
En los siguientes apartados, explicaré con detalle estas dos calibraciones dinámicas ya que el desarrollo de este proyecto, es el diseño de una máquina para poder realizarlas, así que debe de cumplir íntegramente todos los requerimientos de estos dos procesos.

#### 5.4.1 Pendulum test

El ensayo de péndulo para la Flex-PLI, se muestra en la *Figura 53*. En la prueba se deberán de recoger todos los datos de los sensores y verificar que estén dentro del rango de valores especificados en este mismo apartado.

Éste ensayo de certificación se deberá de realizar cada 10 ensayos hechos en un vehículo.

La temperatura deberá de ser registrada y su valor deberá de estar en  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 53: Pendulum test**  
Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9

Como se aprecia en el esquema, la pierna deberá de cumplir exactamente con todas las medidas y sus tolerancias, además de llevar incorporada la masa adicional en la parte inferior.

Las dimensiones de la placa con ángulo también están especificadas en la figura.

GTR Pendulum Dynamic Calibration Results	Peak Moment @ Tibia Gage 1	Peak Moment @ Tibia Gage 2	Peak Moment @ Tibia Gage 3	Peak Moment @ Tibia Gage 4	Peak ACL Elongation	Peak MCL Elongation	Peak PCL Elongation
Upper	272	211	160	108	11.0	26.0	5.4
Lower	235	185	135	94	9.0	23.0	4.0

**Figura 54: Tabla 1 valores pendulum test**  
Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9

GTR Pendulum Dynamic Calibration Results	Peak Moment @ Femur Gage 1	Peak Moment @ Femur Gage 2	Peak Moment @ Femur Gage 3	Peak LCL Elongation	Peak Acceleration @ Knee Tibia Block
Upper	220.3	158.1	100.4	4.5	72.9
Lower	176.9	121.2	82.1	2.0	48.1

**Figura 55: Tabla 2 valores pendulum test**  
Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9

### 5.4.2 Inverse test

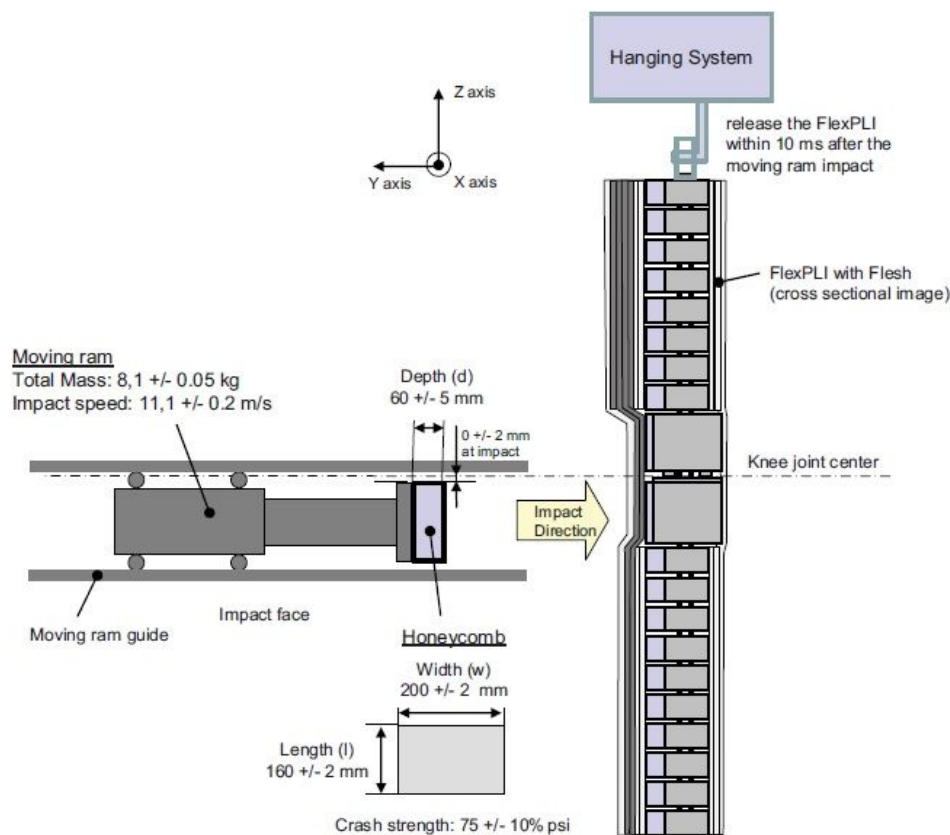
Este ensayo de validación habrá que realizarlo cada 30 ensayos de vehículo. En la prueba se deberán de recoger todos los datos de los sensores y verificar que estén dentro del rango de valores especificados en este mismo apartado.

La calibración dinámica inversa, consiste en dejar la pierna completamente estacionada y suspendida para realizarle un impacto con cierta energía en un determinado punto.

Se golpeará con una masa de 8.1 kg guiada linealmente a una velocidad de 11.1 m/s.

El impactador será una estructura hexagonal hueca, “honeycomb” con las dimensiones especificadas en la *Figura 56*.

La temperatura deberá de ser registrada y su valor deberá de estar en  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 56: Inverse test**  
Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9



Cómo se aprecia en el esquema, la pierna debe de suspenderse en reposo en el sistema de enganche que, después de 10 milisegundos después del impacto deberá de estar libre de sujeciones.

Los valores de las señales después procesadas deberán estar dentro del siguiente rango:

GTR Invers Dynamic Calibration Results	Peak Moment @ Tibia Gauge 1	Peak Moment @ Tibia Gauge 2	Peak Moment @ Tibia Gauge 3	Peak Moment @ Tibia Gauge 4	Peak ACL Elongation	Peak MCL Elongation	Peak PCL Elongation
Upper	277	269	204	120	10.5	23	6.0
Lower	237	223	176	98	8.5	18	4.5

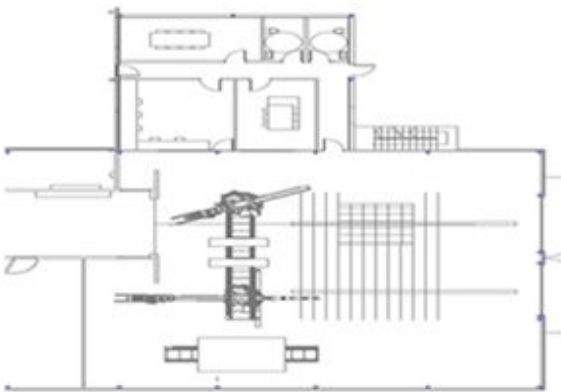
**Figura 57: Tabla valores inverse test**  
Fotografía de Manual usuario Humanetics GTR9



## 5.5 Resumen especificaciones de las calibraciones

En la siguiente tabla se especifican resumidas todas las calibraciones para las que debe de estar preparada la estación de calibración, los números de ensayo que han de pasar entre cada tanda de calibraciones, velocidades, etc..

RESUMEN CALIBRACIONES							
	Impactador	Tipo de certificación		Test de certificación	Ensayos de vehículo después de calibración	Velocidad del test (m/s)	Masa del impacto (Kg)
		Dinámica	Estática				
1	ChildHeadform	x		Caída con ángulo	20	---	---
2	AdultHeadform	x		Caída con ángulo	20	---	
3	UpperLegform	x		Impacto tubo	20	7,1	12
4	LowerLegform TRL		x	Flexión	20	---	---
5	LowerLegform TRL		x	Cizalladura	20	---	---
6	LowerLegform TRL	x		Impacto	20	7,5	9
7	Flex-PLI GTR	x		Pendulum	10	---	---
8	Flex-PLI GTR	x		Inverse test	30	11,1	8,1



# 06 Estudio previo al diseño del prototipo

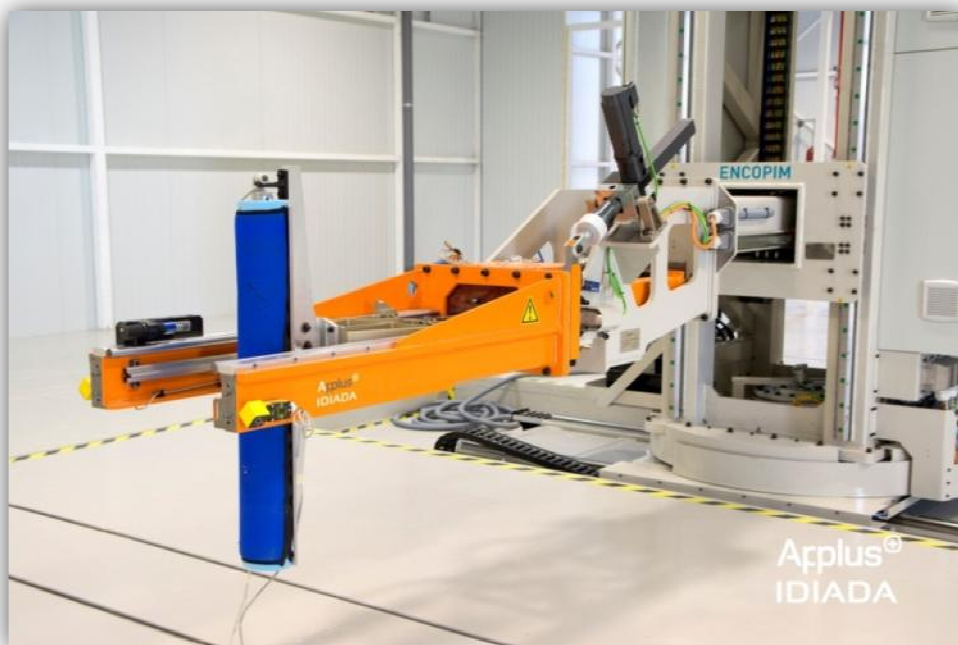
## 6. ESTUDIO PREVIO AL DISEÑO DEL PROTOTIPO

### 6.1 Proceso actual de las calibraciones en el Laboratorio de Peatones

En este apartado se explicará y se verá cómo se procede actualmente con las calibraciones en el laboratorio de peatones. Con ello se pretenderá analizar el estado actual en el que se encuentra para posteriormente estudiar posibles mejoras para optimizar el rendimiento del trabajo cuando se realizan las calibraciones.

Para empezar, en todas las calibraciones determinadas como dinámicas, (las que incluyen una masa, y una velocidad), por el momento cuando es necesario realizar alguna de ellas, se utilizan las propias maquinas que sirven para realizar los ensayos en los vehículos.

El concepto de estas máquinas es que son capaces de lanzar a alta velocidad impactadores sobre los coches, y tienen libertad de movimiento en los ejes del vehículo, que se encuentra estacionado frente a ella. En la siguiente figura se puede apreciar la nueva máquina DITS (*Dynamic Impactor Test System*) que fue construida recientemente.

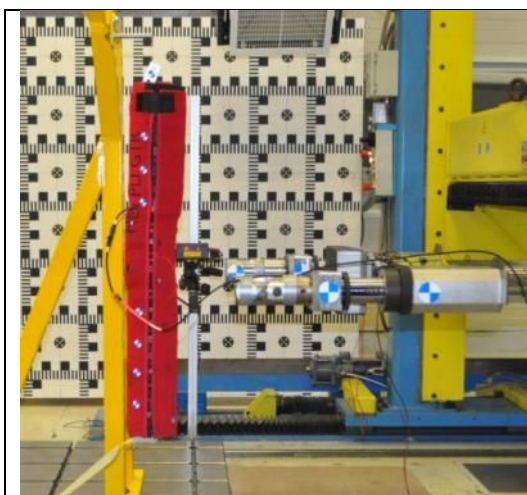


**Figura 58: DITS2 laboratorio peatones**  
Fotografía propiedad de IDIADA

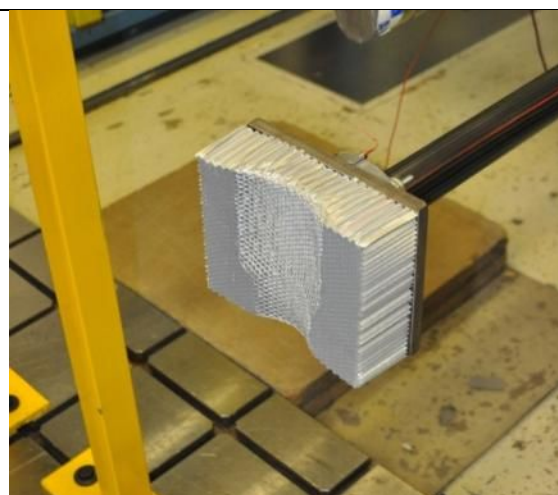


**Figura 59: DITS1 laboratorio peatones**  
Fotografía propiedad de IDIADA

El **inverse** test de la Flex-PLI se realiza con una estructura para suspender la pierna en el aire delante de la lanzadera de una de las DITS.



**Figura 60: Inverse test DITS**  
Fotografía propiedad de IDIADA



**Figura 61: Impactador inverse test usado**  
Fotografía propiedad de IDIADA

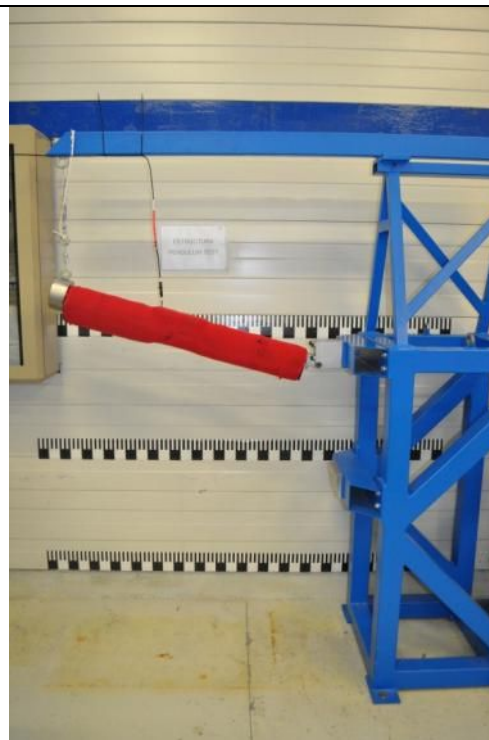
El sistema de liberación para el inverse test, es un “fusible mecánico” que consiste en un cordel de un material a base de nylon, que se rompe cuando se recibe el

impacto, cumpliendo así los 10 milisegundos de la normativa para dejar la pierna libre cuando recibe el impacto.

Para los ensayos de **Pendulum** test en la Flex-PLI se usa una estructura que cumple con todos los requisitos de la normativa.



**Figura 62: Estructura pendulum test 1**  
Fotografía propiedad de IDIADA



**Figura 63: Estructura pendulum test 2**  
Fotografía propiedad de IDIADA

Los ensayos de calibración de la TRL, los dos estáticos se realizan con una mesa construida a medida, donde se puede sujetar firmemente para poder realizar ambas pruebas, la de cizalladura, y la de flexión, mientras que el ensayo dinámico se realiza en la DITS, con la pierna suspendida en el aire.





**Figura 64: Calibración TRL cizalla**  
Fotografía propiedad de IDIADA

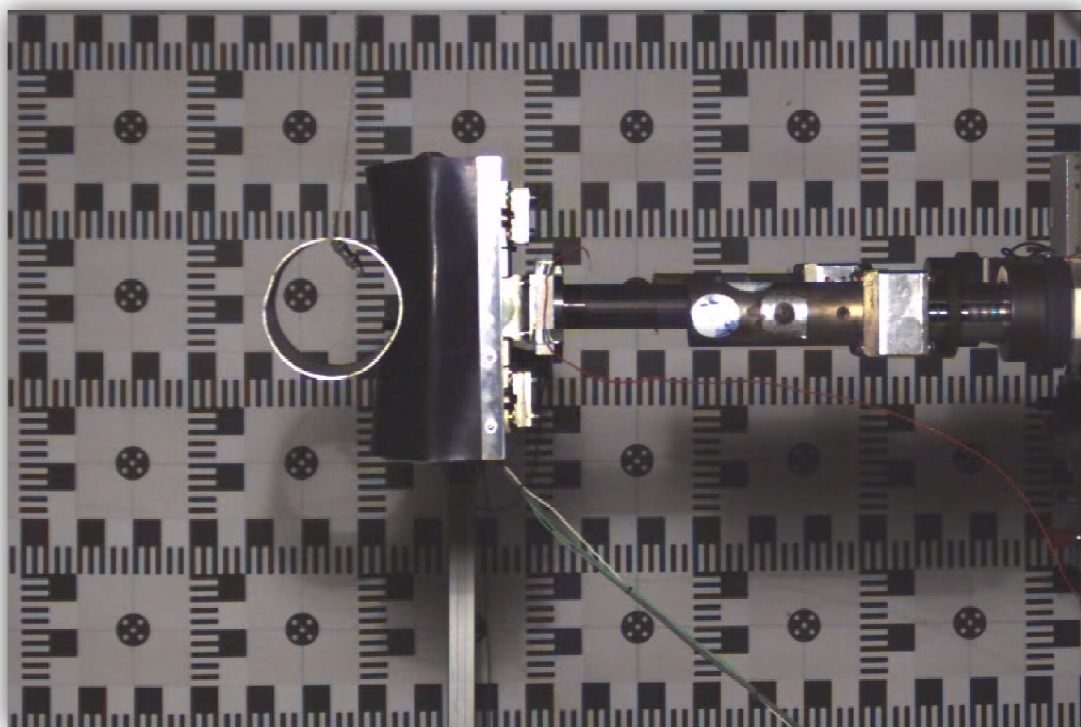


**Figura 65: Calibración TRL flexión**  
Fotografía propiedad de IDIADA



**Figura 66: Calibración dinámica TRL**  
Fotografía propiedad de IDIADA

Para la calibración de la Upper Legform también se utiliza alguna de nuestras máquinas DITS.



**Figura 67: Calibración Upper Legform**  
Fotografía propiedad de IDIADA

Para la calibración de las cabezas se usa una pequeña estructura de hierro con un hilo de metal y una manivela que corta ese hilo para dejar caer la cabeza sobre la plancha de acero.



**Figura68: Estructura calibración heads**  
Fotografía propiedad de IDIADA

## 6.1 Desventajas y problemas actuales

Uno de los principales problemas es que, en la mayoría de los casos hay que utilizar alguna de las máquinas DITS para poder calibrar los impactadores. Normalmente, o bien se para la producción de ensayos, o se debe encontrar un momento mientras se cambia de proyecto (cambios de coche, gestión de material de recambio..) para poder hacer los ensayos de calibración.

Otra de las desventajas es que, si nos fijamos en el “layout” de la *Figura 68* se puede observar que, la estructura del **Pendulum test**, y la **zona de calibración** están cada una en un extremo del laboratorio, aparte de los ensayos que se realizan con la misma DITS.

En el caso de la calibración de las cabezas, se llevan a otro departamento.

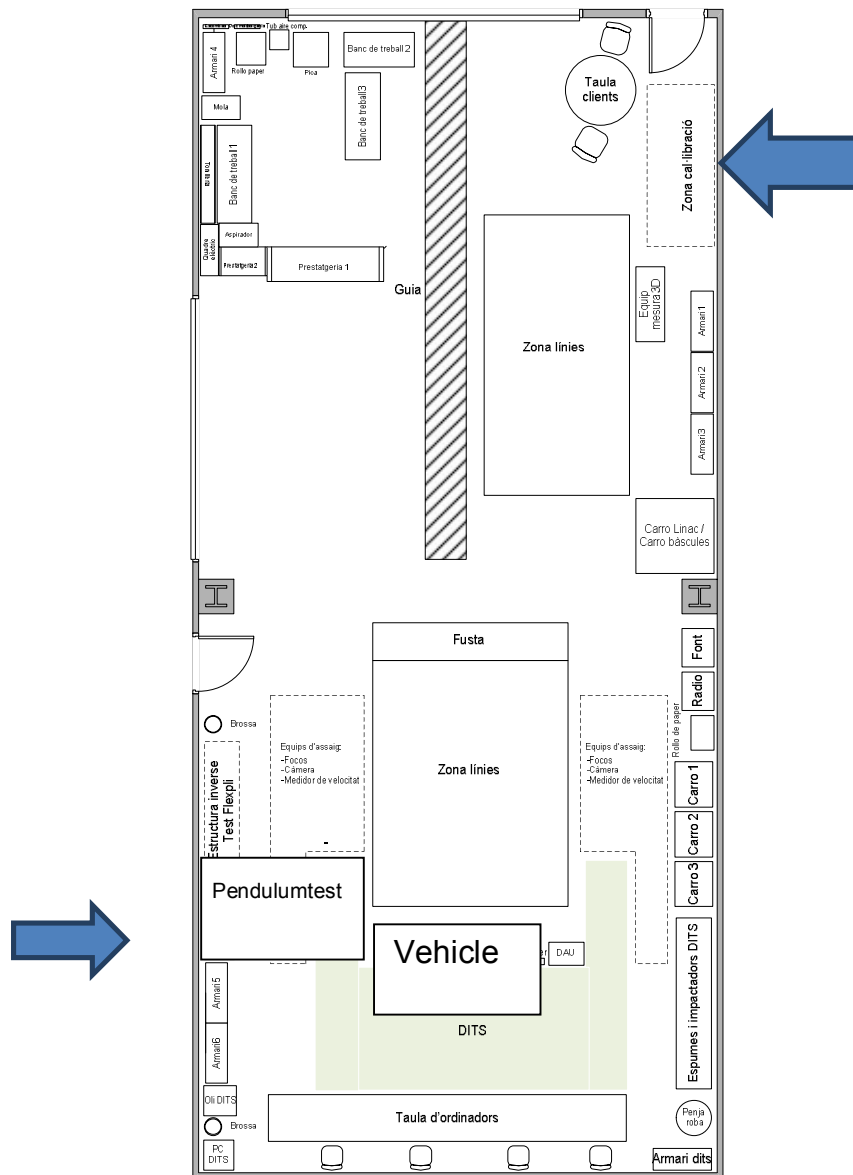
En el “layout” de DITS 2 sucede lo mismo, cuando se realizan ensayos dinámicos en el nuevo laboratorio, hay que desplazarse a él.



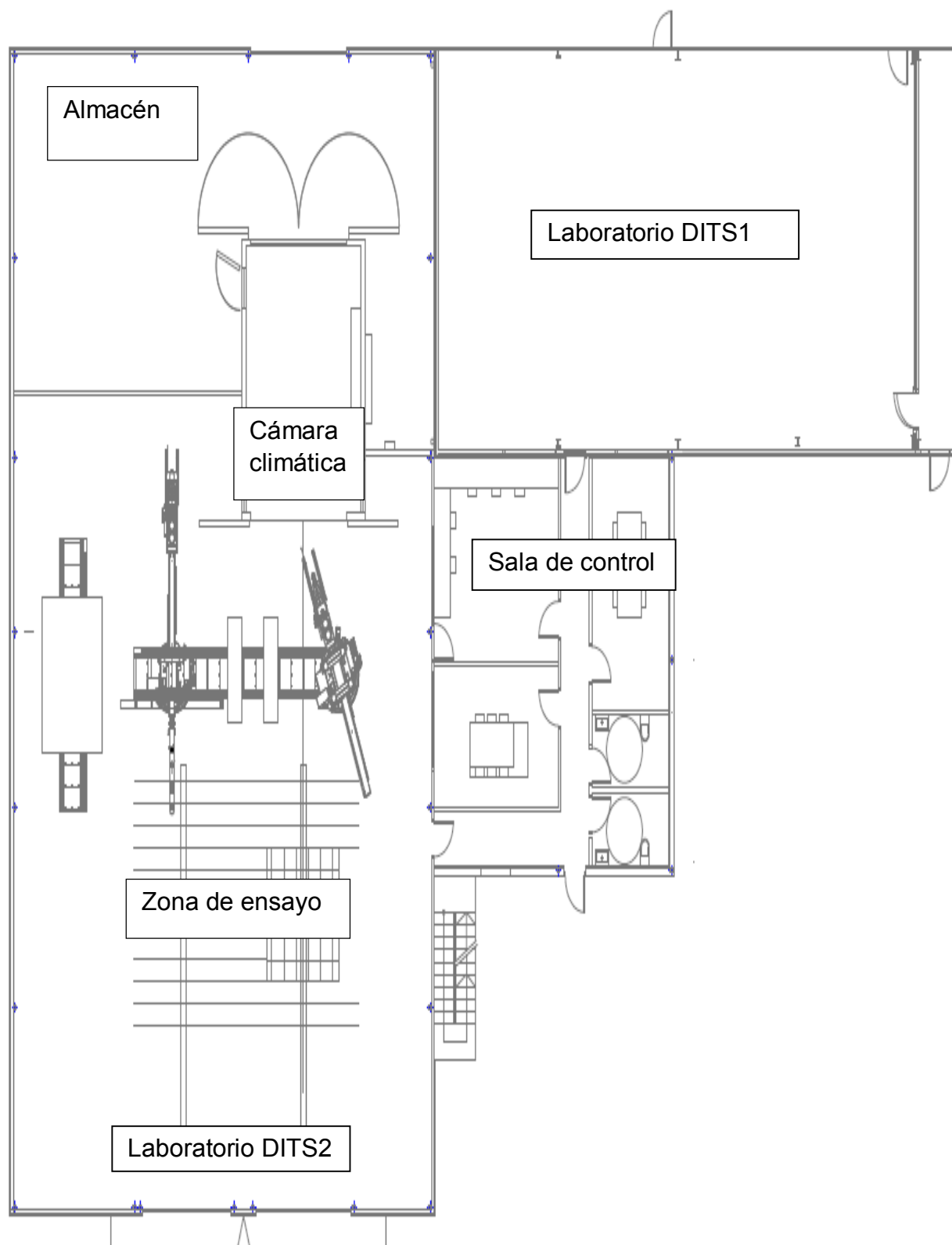
Así pues los problemas que hay en la actualidad, refiriéndonos a las calibraciones son los siguientes:

- Uso de la DITS para realizar ensayos dinámicos
- Zonas de ensayo no centralizadas
- Desplazamiento de los equipos de ensayo

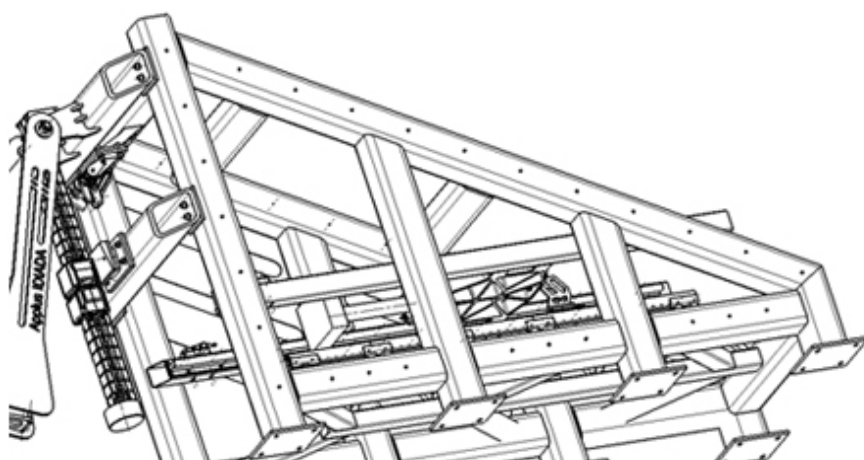
La solución a todo esto fue el diseño de la estación de calibración, para solventar esos problemas, ya que nos permitiría tenerlo todo centralizado en una misma estación de trabajo, y a su vez liberar cualquiera de las dos máquinas DITS para realizar los ensayos.



**Figura 69: DITS1 Layout**  
Fuente propia



**Figura 70: Layout DITS2**  
Propiedad de Applus IDIADA



# 07

## Diseño del prototipo

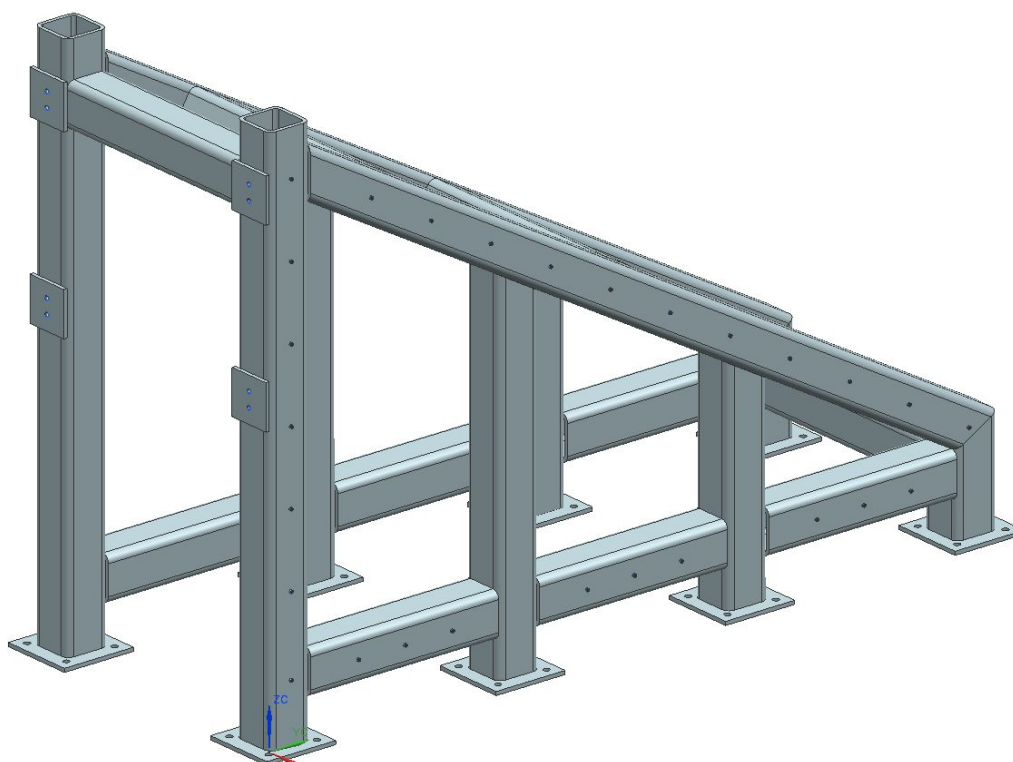
## 7. DISEÑO DEL PROTOTIPO

En este apartado del proyecto se irá mostrando poco a poco como ha ido el desarrollo y el diseño de la estación de calibración, sus módulos desmontables, y cómo funcionan todos y cada uno de sus componentes.

Previamente, y durante el diseño, se han tenido que ir haciendo algunos pequeños cálculos para escoger algunos elementos comerciales y dimensionar algunas piezas de la estación. Toda esa información está en el apartado de cálculo.

### 7.1 Bancada

La bancada es el cuerpo principal de la máquina. Está fabricado con tubo comercial de hierro de 120x120 mm y 10mm de espesor, y todo el ensamblaje es mediante soldadura.

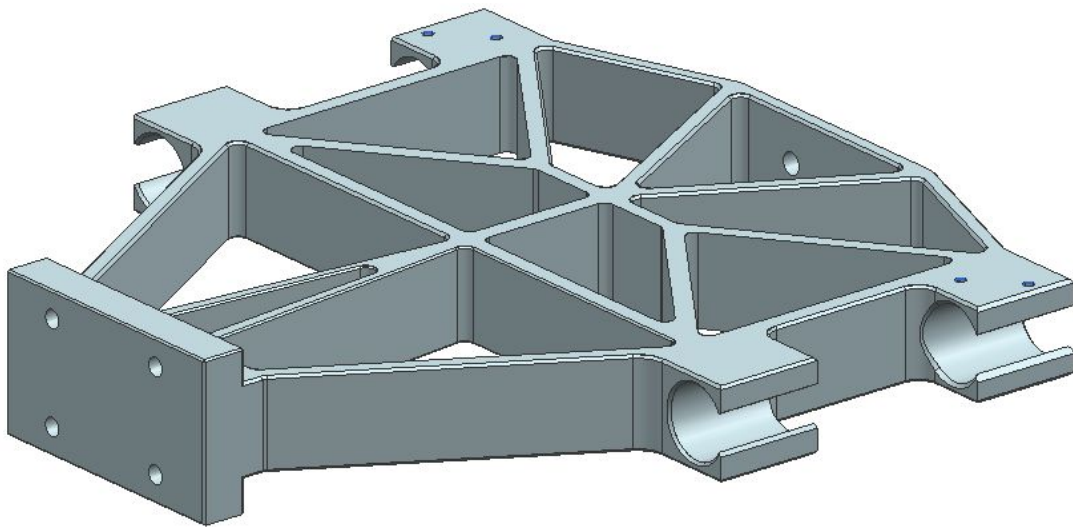


**Figura 71: Bancada máquina**  
Fuente propia

Cada pata de la bancada tiene una pletina con cuatro agujeros para poder anclarla al suelo.

## 7.2 Carro deslizante

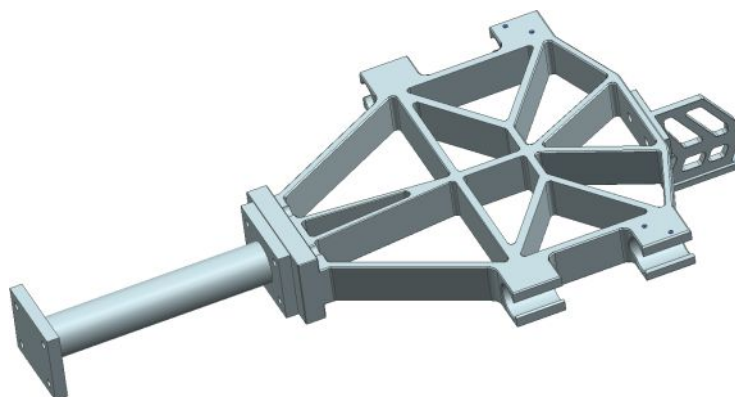
El carro deslizante está mecanizado en aluminio con un acabado superficial anodizado para darle un mejor aspecto de diseño y de paso prevenir la corrosión, y es el encargado de todos los ensayos dinámicos. Su diseño está pensado para para que toda la energía recibida de los impactos se transfiera de una forma equitativa por toda la estructura del mismo.



**Figura 72: Carro deslizante**  
Fuente propia

El carro tiene 4 alojamientos para unos cojinetes de bolas y moverse linealmente a través de las guías. En la parte trasera tiene otra pieza mecanizada en aluminio denominada “propulsor” que es la encargada de transferir la fuerza del motor al carro para generar el impulso.

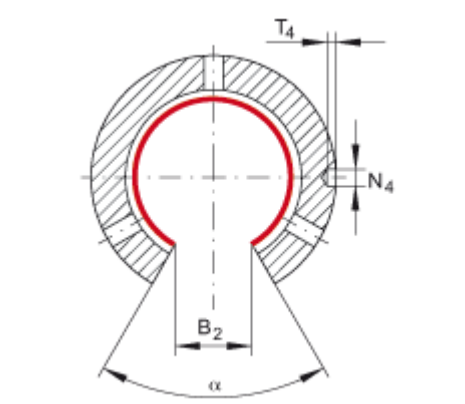
En la parte delantera del carro hay un alargador, también de aluminio que tiene dos propósitos. El primero es alargar el impactador para que este salga de la estructura para impedir por ejemplo, que la Flex-Pli quede dentro de la estructura y no se visualice en su totalidad para poder grabar con las cámaras de alta velocidad, y el otro es ajustar la masa total de impacto, aunque siempre para cada ensayo hay que acabar de ajustarla mediante pequeñas placas de peso.



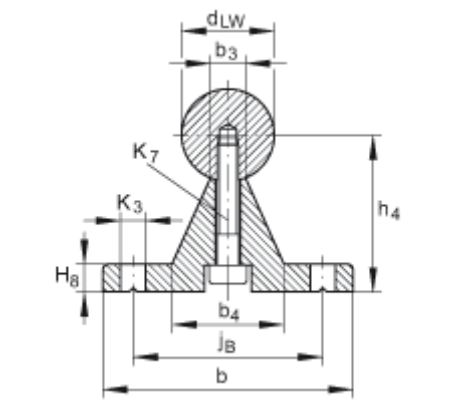
**Figura 73: Carro deslizante con alargador**  
Fuente propia

### 7.2.1 Guías y cojinetes

Las guías y los cojinetes son elementos comerciales. Los cojinetes son de bolas y re-engrasables y van ensamblados con un ajuste de apriete en el alojamiento del carro.

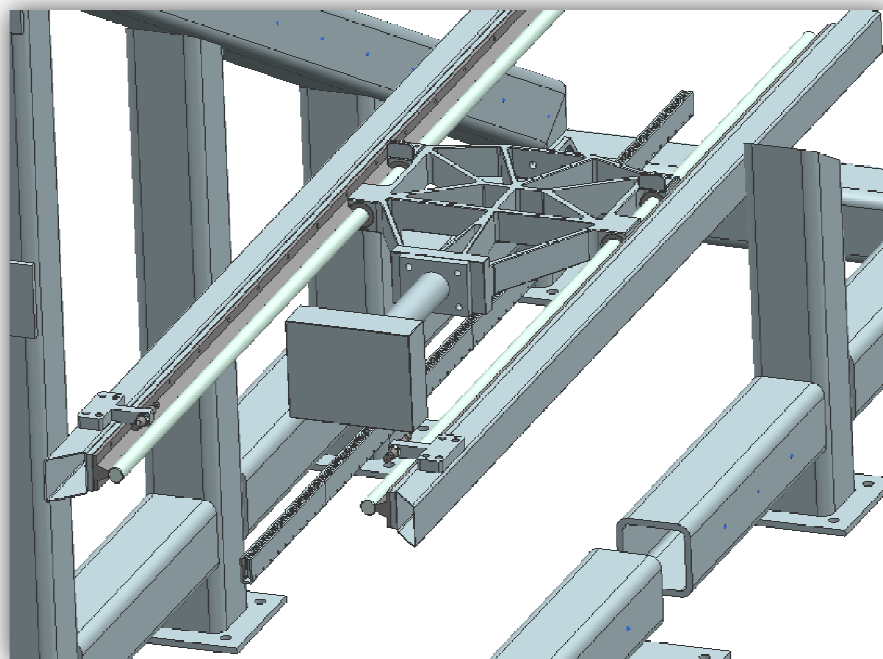


**Figura 74: Cojinetes**  
www.schaeffler.de

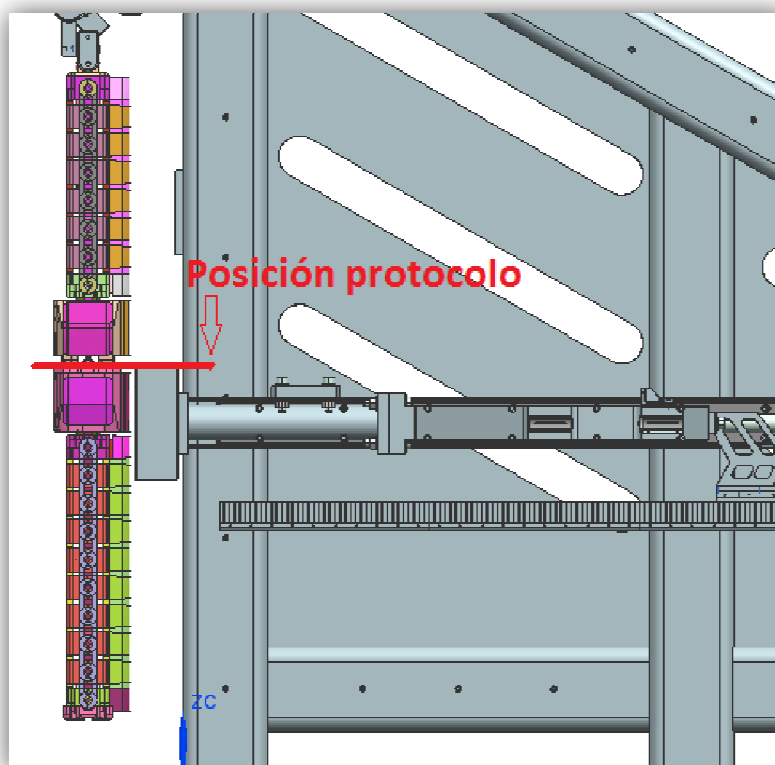


**Figura 75: Guías**  
www.schaeffler.de

Las guías van sobre un pasamano rectificado por una de las caras para asegurar el paralelismo entre ambas guías. Ese pasamano está soldado a un tubo comercial de hierro de 50x70 que también está soldado a una cierta altura, para poder cuadrar las distancias del inverse test.



**Figura 76: Ensamble guías bastidor**  
Fuente propia



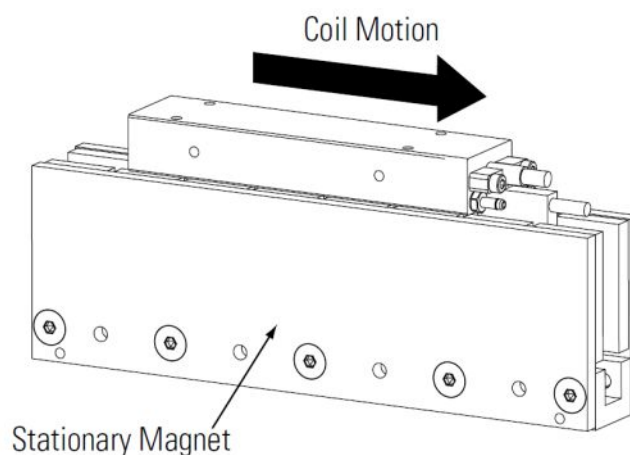
**Figura 77: Posición Inverse test**  
Fuente Propia

## 7.3 Sistema de propulsión

### 7.3.1 Motor lineal

Para el sistema de propulsión se ha acoplado un motor lineal. Su funcionamiento es bastante básico, pero no por eso deja de tener un buen rendimiento y unas buenas prestaciones.

El funcionamiento del motor se basa en electromagnetismo. Son dos piezas, el carril y el propulsor.

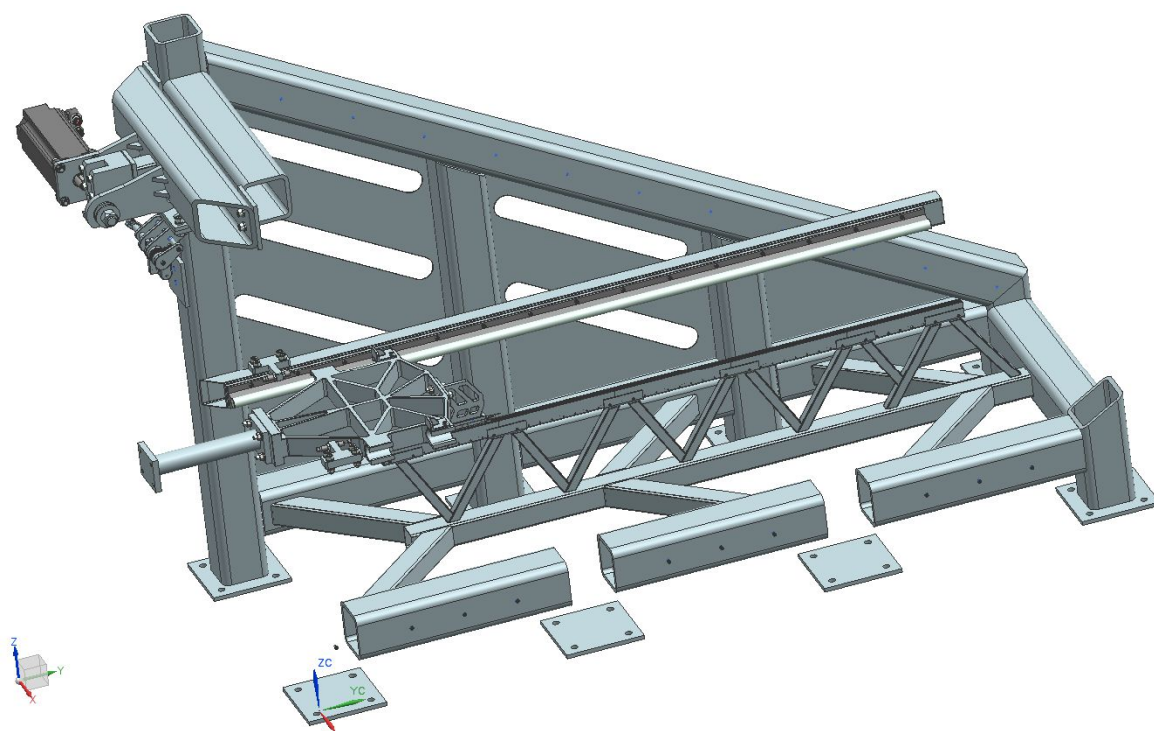


**Figura 78: Motor lineal**  
[www.rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com)

El perfil en “U” del carril está unido a la bancada mediante un soporte y tirantes soldados a la altura correcta para que el carro esté a la altura necesaria para los ensayos.

Este motor es capaz de alcanzar una velocidad máxima de 14 m/s en tan solo 600mm de carrera, a su pleno rendimiento.





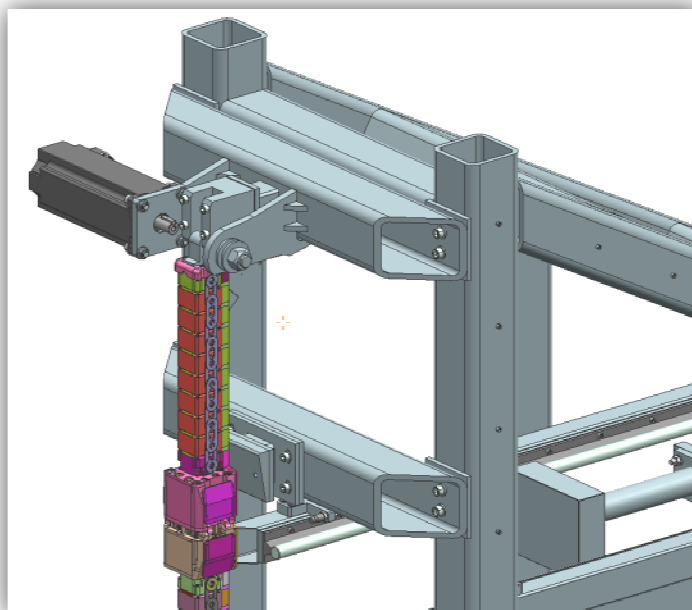
**Figura79: Soporte segmentos motor**  
Fuente propia

## 7.4 Módulo *PENDULUM*

Lo denominado sujeción rotativa, son los módulos necesarios para hacer las pruebas de *PENDULUM*.

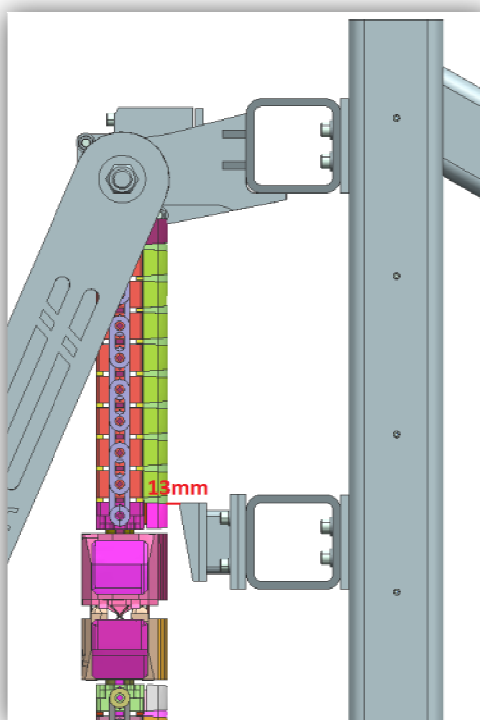
En la parte superior de la estructura, se ha acoplado mediante unas pletinas con colisos ajustables, un tubo cuadrado comercial de 120x120 mm en la parte superior y otro en la parte inferior.

En el soporte de la parte superior, hay una pieza mecanizada con un eje para la rotación de la pierna, y dos soportes más que sirven para sujetar el motor de posicionamiento radial, y la palas de posicionamiento de la Flex-Pli.

**Figura 80: Módulo Pendulum**

Fuente propia

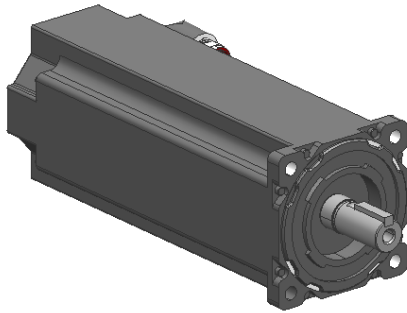
El tubo de la parte inferior también es un tubo cuadrado comercial de 120x120 mm que tiene alojado mediante pletinas (también ajustables) a la bancada el “*stopper bar*” a la altura y posición correcta según la normativa de ensayo para el pendulum.

**Figura 81: Posición Pendulum test**

Fuente propia

#### 7.4.1 Motor posicionamiento angular

El motor de posicionamiento angular, tiene un eje con chaveta y cuenta con un freno integrado para poder bloquear en la posición angular dentro de la tolerancia que marca la normativa.



**Figura 82: Motor angular**  
www.rockwellautomation.com

Su función es, mediante el software de control, el motor accionará las palas para recoger la pierna, y posicionar en la posición adecuada de ensayo.

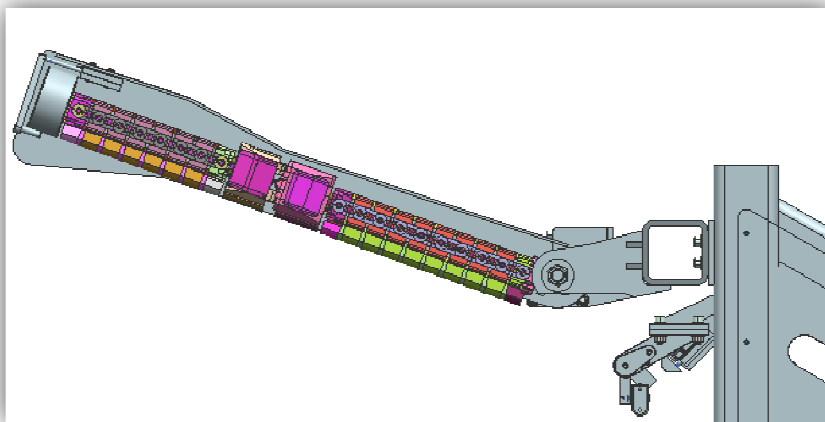
El motor es capaz de soportar el momento generado por el peso de la pierna, junto con las palas de posicionamiento y sistema de liberación sin falta de reductor.

Las especificaciones del motor se pueden consultar en los anexos del proyecto.

#### 7.4.2 Sistema de recogida y liberación

El sistema de liberación de la pierna, es un pequeño cilindro neumático de doble vástago que lleva acoplado una pieza mecanizada con dos ejes más que recogerán la pierna por el peso adicional acoplado en un extremo de la pierna.

El cilindro está sujeto a la pala posterior.



**Figura 83: Sistema recogida/liberación**  
Fuente propia

## 7.5 Módulo *INVERSE TEST*

Para utilizar la estación en el modo de pruebas para el inverse test, la única consigna es desmontar el travesero del “*stopper bar*” ya que la posición de la Flex-Pli queda un poco más avanzada en esta configuración.

### 7.5.1 Sistema de liberación

El sistema de liberación, es un mecanismo de gatillo mecánico. El mayor reto de diseñar este mecanismo es que debe de soltarse en un margen de 10 ms desde que el impactador toca la pierna, con el problema de que nada de resultar dañado.

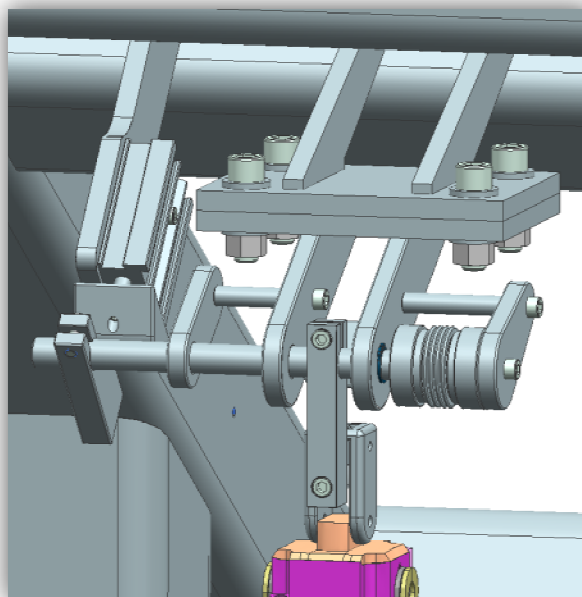
Ambos objetivos se cumplen. El primer paso era escoger un detector “X” que sea capaz de enviar la consigna a tiempo, y cuadrarlo mediante el software de control con el retaso mecánico del gatillo, cosa que es posible con los componentes que tiene el sistema.

El detector irá situado bajo las guías, para que cuando pase el carro en un determinada posición corte la señal, este detecto envíe una señal a la válvula del pistón que actúa el gatillo.

Todo el sistema del gatillo mecánico está situado en unos soportes soldados al tubo superior del bastidor. También cuenta con un sistema de pletinas para poder ajustar la posición.

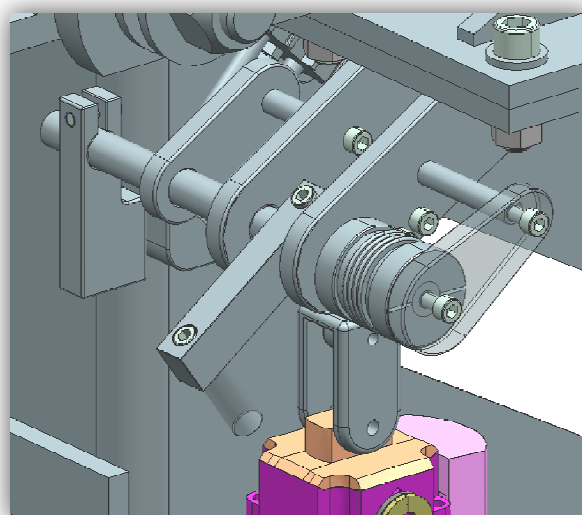
De las pletinas salen dos soportes que alojan un eje, mediante un ajuste que no tiene holgura, pero tampoco apriete, para que el eje pueda rotar. Está ajustado mediante dos arandelas seeger que fijan su posición.

Para evitar flexiones en el eje, hay dos soportes adyacentes que dan rigidez al eje de rotación.



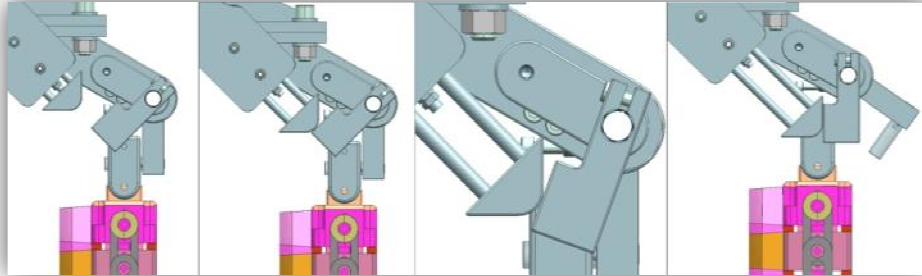
**Figura 84: Sistema liberación Inverse test**  
Fuente propia

Al ser un eje de rotación libre, se ha de determinar una posición vertical fija, ya que la Flex-Pli ha de colgar de ese eje, así que delante hay un tope ajustable que le da la posición vertical. A su vez ha de conservar esa posición, esto se consigue mediante un muelle radial con mordaza, que se le puede ajustar una precarga determinada.



**Figura 85: Muelle axial rotativo**  
Fuente propia

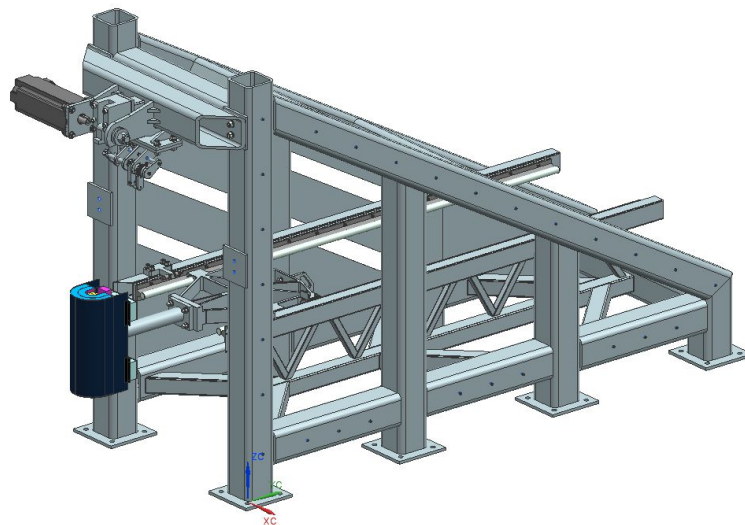
Una definidos estos aspectos, mediante un pistón neumático de doble vástago con un acople frontal a modo de leva, golpea el gatillo situado la final del eje, y manteniendo el contacto en todo momento, dando así la rotación a todo el sistema liberando la pierna.



**Figura86: Movimiento gatillo mecánico**  
Fuente propia

## 7.6 Upper legform

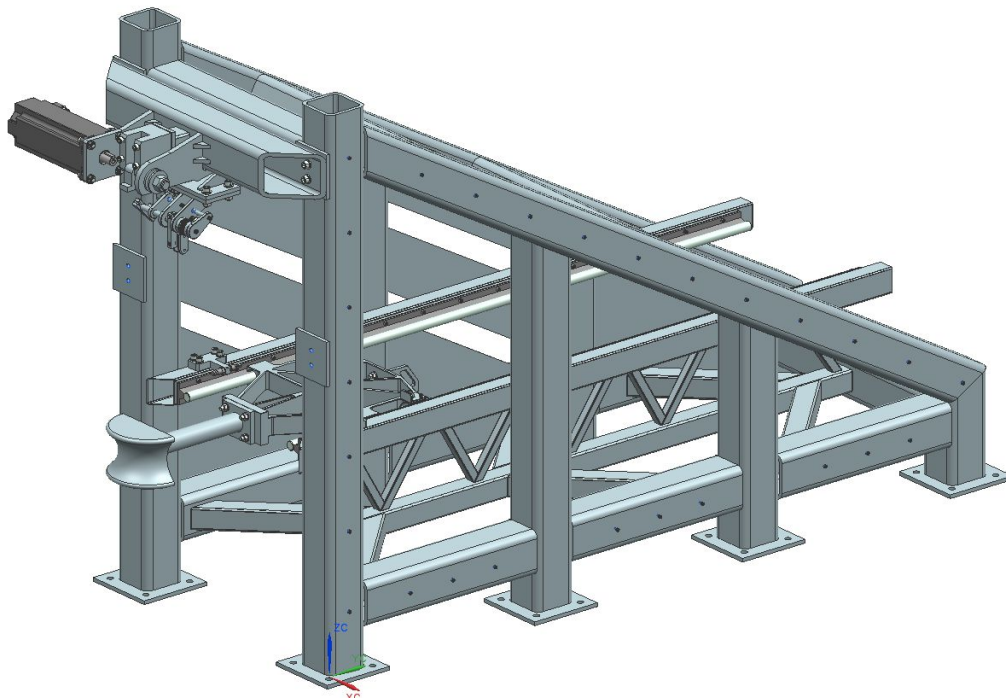
Para la configuración de Upper legform, solo hace falta cambiar el impactador. En este caso solo hace falta diseñar él cómo colgar el tubo específico con los 2m de longitud de cable, cosa que se hará cuando la estación tenga un lugar asignado para trabajar, ya que teniendo varias opciones es un gasto de recursos hacer un diseño para ello sin tener ese lugar específico porque hay varias opciones tales cómo, colgarlo directamente del techo de la instalación, con un soporte en la pared, o con un estructura frontal, etc..



**Figura 87: Configuración Upper Legform**  
Fuente propia

## 7.8 Lower legform

Para la configuración de Lower legform TRL nos encontramos en el mismo caso que en el apartado anterior. Solamente hay que cambiar el impactador, y buscar una solución para poder colgar la pierna, cosa que vuelve a depender la instalación donde se encuentre la estación de calibración.

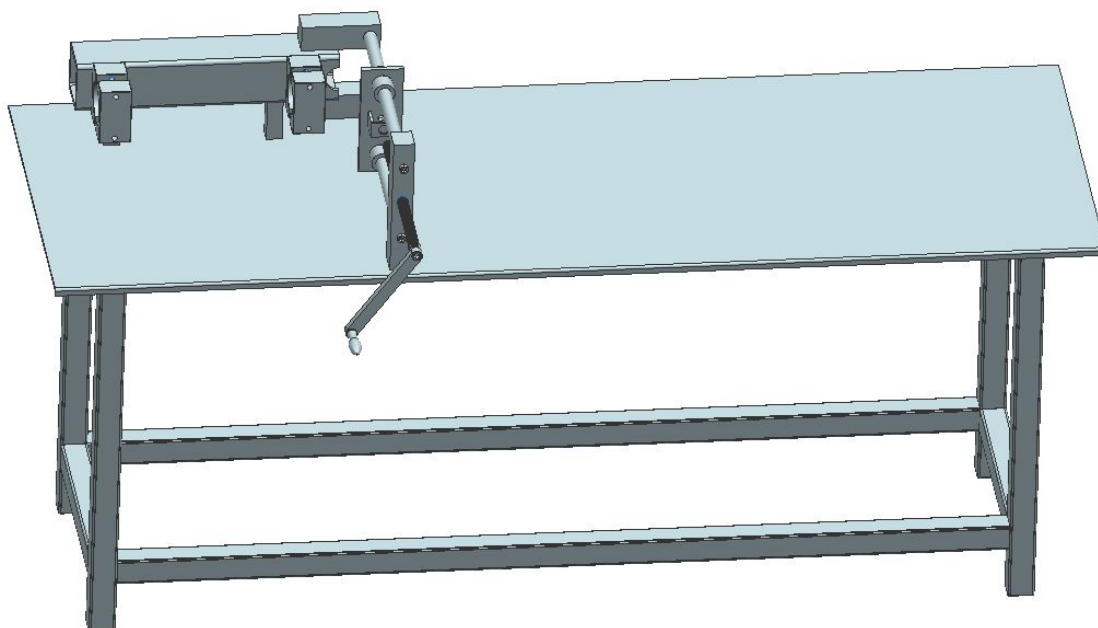


**Figura 88: Configuración calibración Lowerleg TRL**  
Fuente propia

## 7.9 Estructura calibraciones estáticas

Para finalizar el diseño, está la mesa de calibraciones estáticas, que no es más que una mesa de trabajo con diferentes soportes y sujeciones para los impactadores, cumpliendo las normativas de calibración.

Esta mesa, ha sido un rediseño con mejoras de lo que ya tenemos en el propio laboratorio.

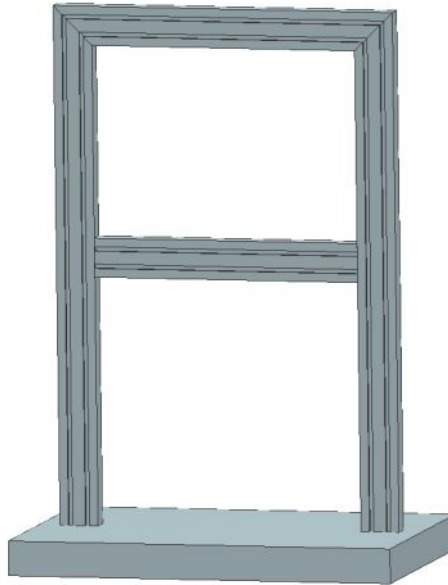


**Figura 89: Mesa calibraciones estáticas**  
Fuente propia

En esta mesa adjunta, está la estructura para las calibraciones de Head forms que se ha diseñado totalmente nueva, ya que anteriormente estaba en otro departamento (*Dummies*).

Para calibrar las cabezas es una sencilla estructura de *perfil bosch 3 842 933 126 / 255* con una chapa y un sistema de liberación por imán mediante pulsador.

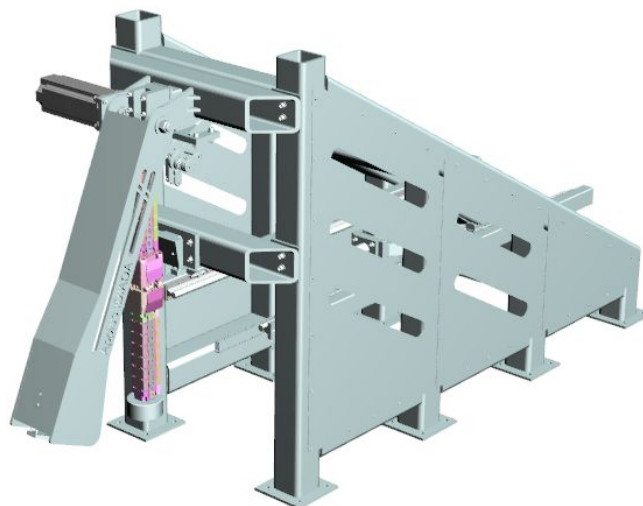




**Figura 90: Estructura calibración cabezas**  
Fuente propia

## 7.7 Placas de protección

Una vez la estación está completa, en los laterales se han colocado placas de protección para evitar posibles contactos con los elementos móviles de la máquina.

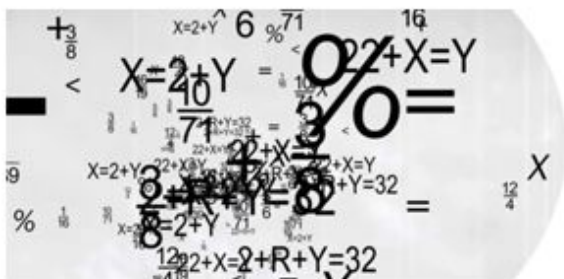


**Figura 91: Placas de protección**  
Fuente propia

## 7.8 Sistema de control

Para todo el conjunto ya funcionando, hace falta diseñar un sistema de control, que mediante un pc y un software diseñado a medida, controle todos los parámetros de funcionamiento de la máquina.

Cómo ingeniero mecánico, esta labor para a ser parte de ingenieros electrónicos.



# 08

## Cálculos

## 8. CÁLCULOS

Antes de empezar con la parte de cálculos, hay que mencionar que se han hecho diversos mallados de piezas claves de la estructura para buscar deformaciones y tensiones con Siemens NX.

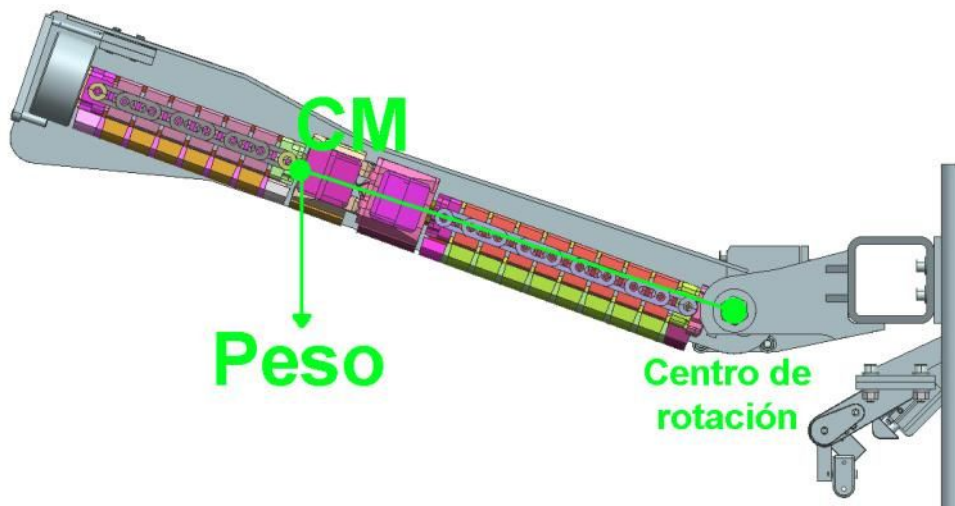
Todas las imágenes que se muestren de este tipo, se ven extremadamente deformadas, cosa que no quiere decir que los resultados sean satisfactorios, si no que Siemens NX deforma las piezas exageradamente, aun con valores de deformación minúsculos para que se pueda apreciar cómo se distribuyen las fuerzas en el elemento.

### 8.1 Módulo *PENDULUM*

#### 8.1.1 Motor posicionamiento radial

Para calcular la fuerza de par mínima que debe de soportar el motor, se ha calculado el momento que genera la pierna, junto con el peso de las palas, el peso adicional para el ensayo, y el resto de componentes.

La distancia escogida es desde el centro de masas de todo el conjunto.



**Figura 92: Esquema fuerzas Pendulum test**  
Fuente propia

Dónde:

$$P = 13,4 \text{ kg (Flex-Pli)} + 5 \text{ kg (masa adicional)} + 4,5 \text{ kg (componentes)} = 23 \text{ kg}$$

$$\text{Distancia al CM} = 520 \text{ mm} = 0,52 \text{ m}$$

Con estos datos podemos despejar el momento;

$$\text{MOMENTO} = \text{FUERZA} \times \text{DISTANCIA}$$

$$M = (23 \text{ kg} \times 9,81) \times 0,52 \text{ m} = 117,3276 \text{ Nm}$$

Así pues el motor ha de ser capaz de levantar todo el conjunto soportando al menos un par de 120 Nm.

El motor encargado de ello es *MPL-A560F* que se pueden consultar sus especificaciones en los anexos.

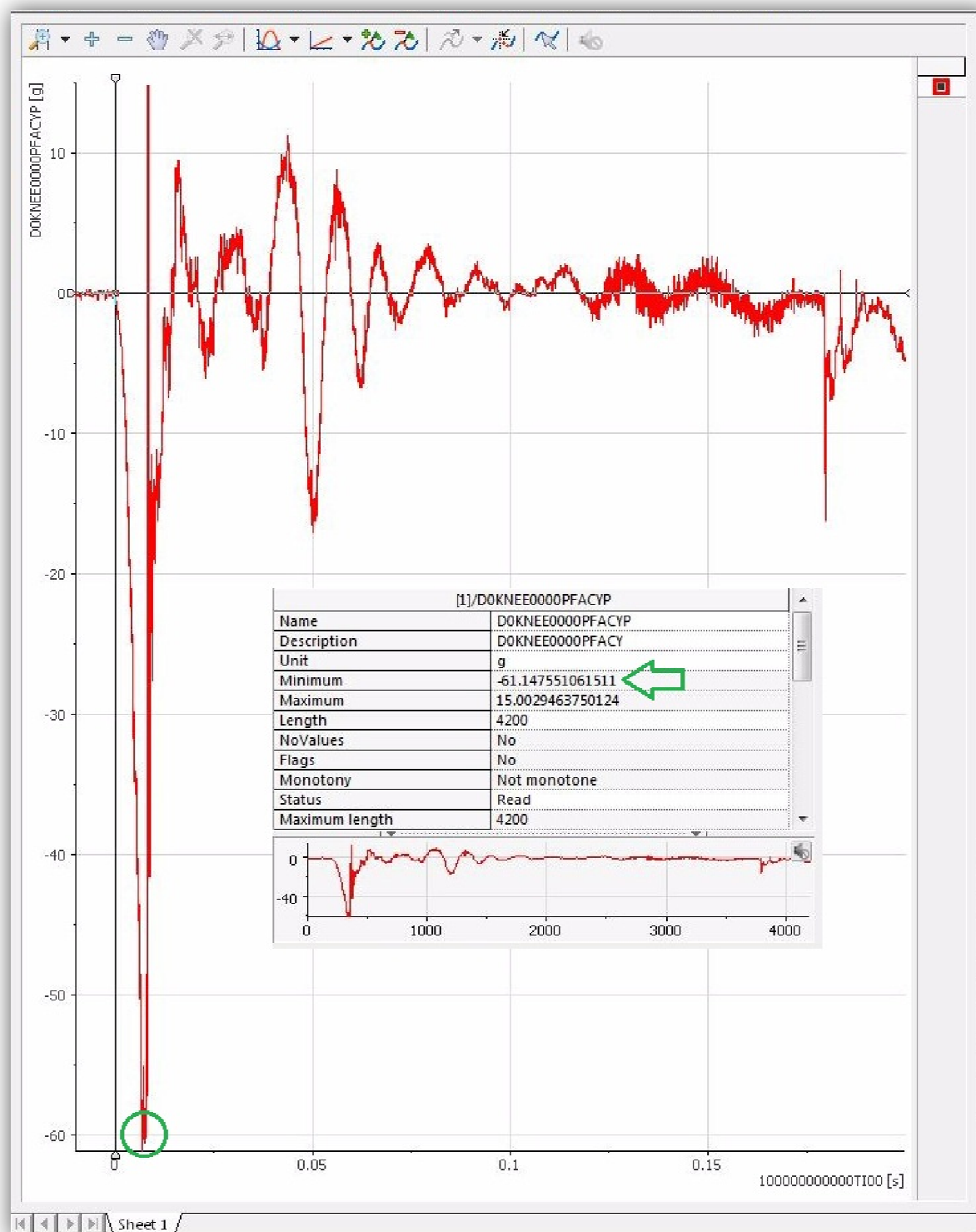
### 8.1.2 Stopper bar

El stopper bar en la parte de la estructura que se lleva el impacto de la pierna cuando en el ensayo de Pendulum.

Para calcular si el tubo travesero de 120mm de la estructura aguantará el impacto, se tendrá que calcular la fuerza con la que impacta la Flex-Pli.

Los demás componentes (placa con ángulo, tubo de 80mm y los dos pasamanos) trabajan a compresión, así que no hay problema por deformación, ya que la masa del impacto son solamente 23kg.

Para hallar la fuerza, nos valdremos de que la Flex-Pli lleva incorporado un acelerómetro en el centro masas. Si analizamos esta señal podemos encontrar el valor máximo de la aceleración justo en el punto antes de impactar.

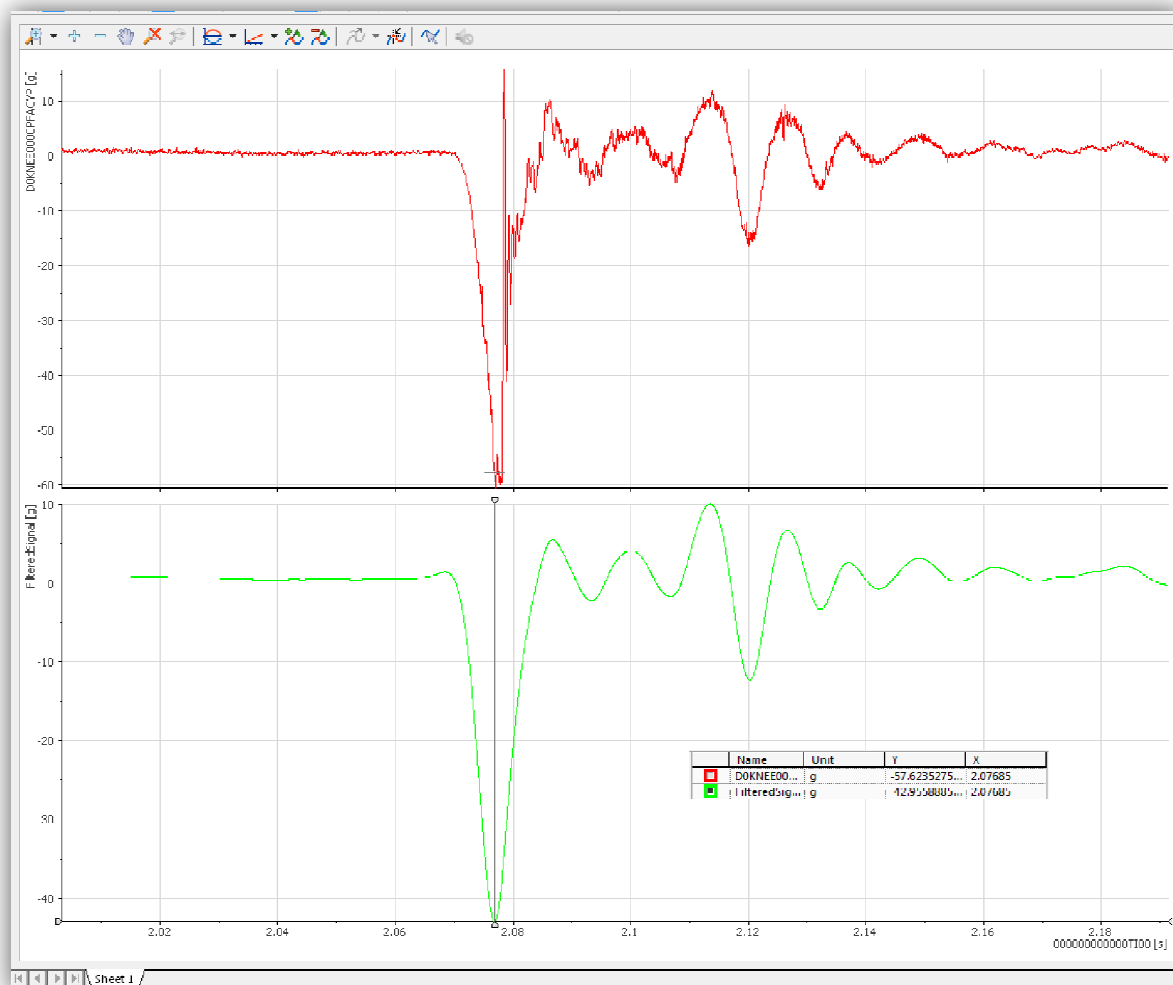


**Figura 93: Aceleración Flex-Pli**  
Diadem National Instruments

Viendo la señal, vemos que parte desde el 0, y justo cuando se descuelga empieza a acelerar hasta alcanzar un valor de 61,14775g. Justo en el pico más alto es cuando a partir de ese instante empieza a decelerar debido al impacto con la estructura.

Esta señal está tal cual se obtiene de la recogida de datos del ensayo. Según la normativa *SAE J211-1*, toda señal adquirida de un acelerómetro hay que filtrarla a 60Hz, eso quiere decir que todos los picos mayores a ese valor se eliminan para poder procesar la señal.

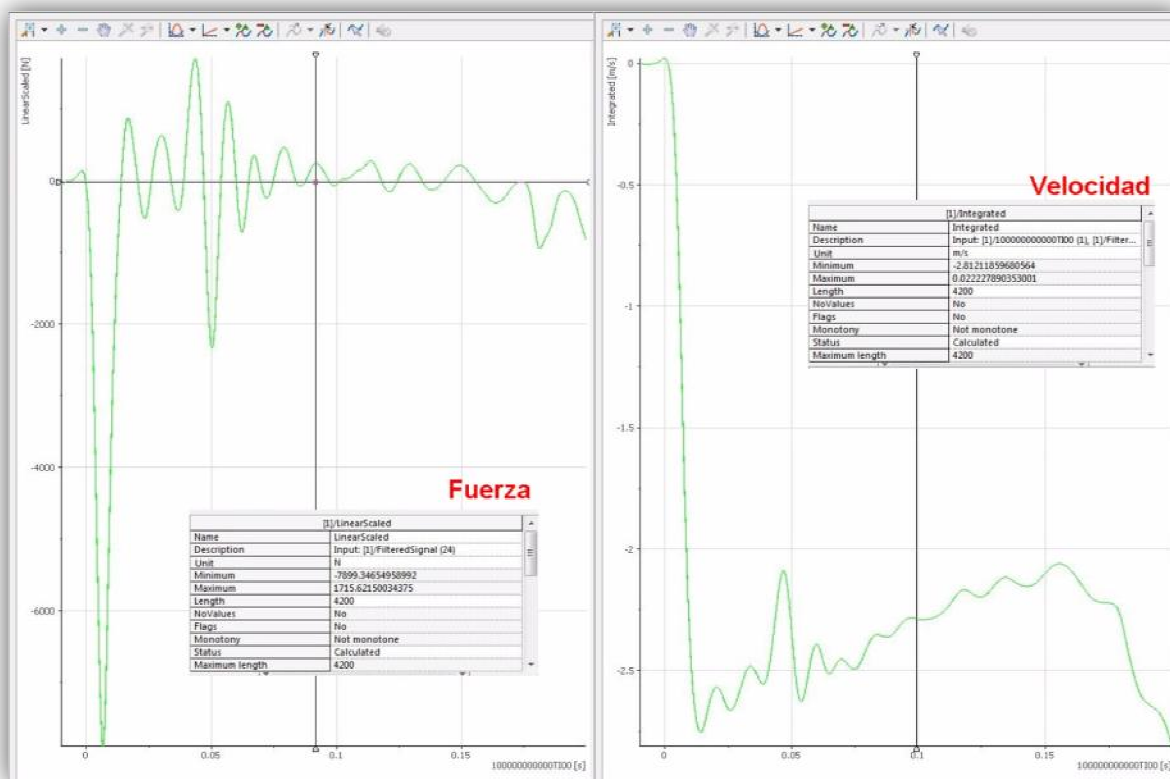
Una vez filtrada con el software de análisis de datos obtenemos esta nueva señal.



**Figura 94: Aceleración filtrada Flex-Pli**  
Diadem National Instruments

Podemos observar que el nuevo valor de la aceleración (señal verde) es de 42,95g.

El software de análisis de datos también es capaz de calcular directamente la fuerza y la velocidad que hay justo antes del impacto. Si analizamos la gráfica de fuerzas y velocidad podemos ver que la fuerza que ha calculado es de **7899.3465N**, con una velocidad de **2.81m/s**.



**Figura 95: Cálculo de fuerza**  
Diadem National instruments

Ahora bien, de alguna manera tenemos que asegurarnos de que estos cálculos estarán bien hechos para poder seguir adelante con los demás cálculos.

De forma analítica podremos corroborar que:

$$\text{Fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración}$$

De tal manera que lo que conocemos es la masa, y aceleración filtrada.

$$F = (13.4 \text{ kg} + 5 \text{ kg}) \times (42.95 \times 9.81) \text{ g} = \mathbf{7671.42 \text{ N}}$$

Para el cálculo de la velocidad, lo haremos mediante energías:

$$\text{Energía Potencial} = \text{Energía cinética}$$

$$m \times g \times h = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$



Dónde:

h = diferencia de alturas calculado con la distancia al centro de rotación desde el acelerómetro al CM, estando posición de 15° respecto a la vertical (450 mm).

$$\text{Sen } 15^\circ = \frac{x}{450}$$

$$X = \text{sen } 15^\circ \times 450 \text{ mm}$$

$$X = 116.47 \text{ mm} = 0.11647 \text{ m}$$

$$dh = 0.11647 + 0.45 = 0.56647 \text{ m}$$

$$18.5 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.56647 \text{ m} = 0.5 \times 18.5 \text{ kg} \times v^2$$

$$V = \sqrt{\frac{(9.81 \times 0.56647)}{0.5}} = 3.33 \text{ m/s}$$

Si analizamos los datos obtenidos vemos que la velocidad se aleja del cálculo analítico 0.5 m/s<sup>2</sup> y la fuerza 228 N. Dado que el software coge íntegramente todos los decimales y datos reales, damos por bueno el resultado de Diadem.

Una vez encontrada la fuerza que recibe el *stopper bar*, mediante elementos finitos en Siemens Nx, le aplicamos la fuerza para obtener las deformaciones que va a sufrir el componente de la máquina.

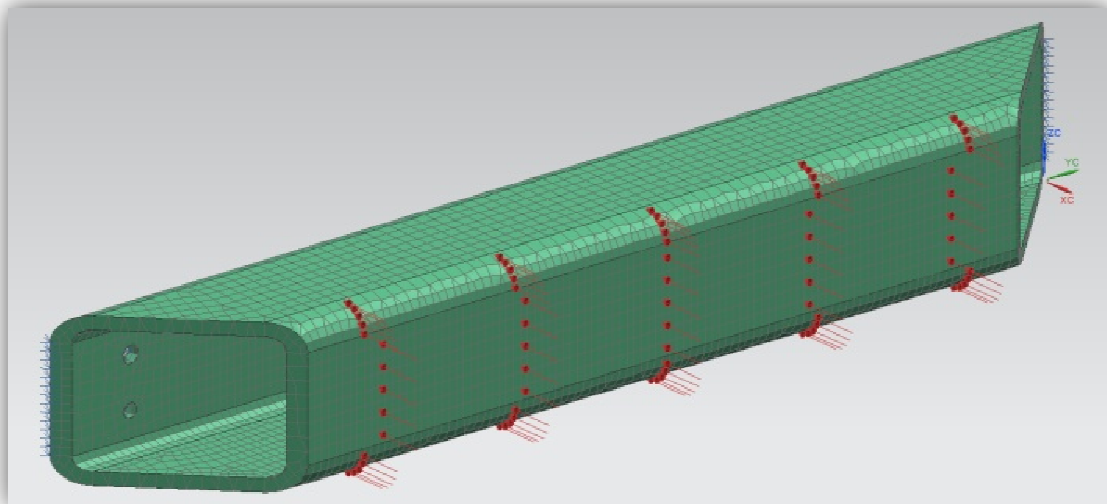
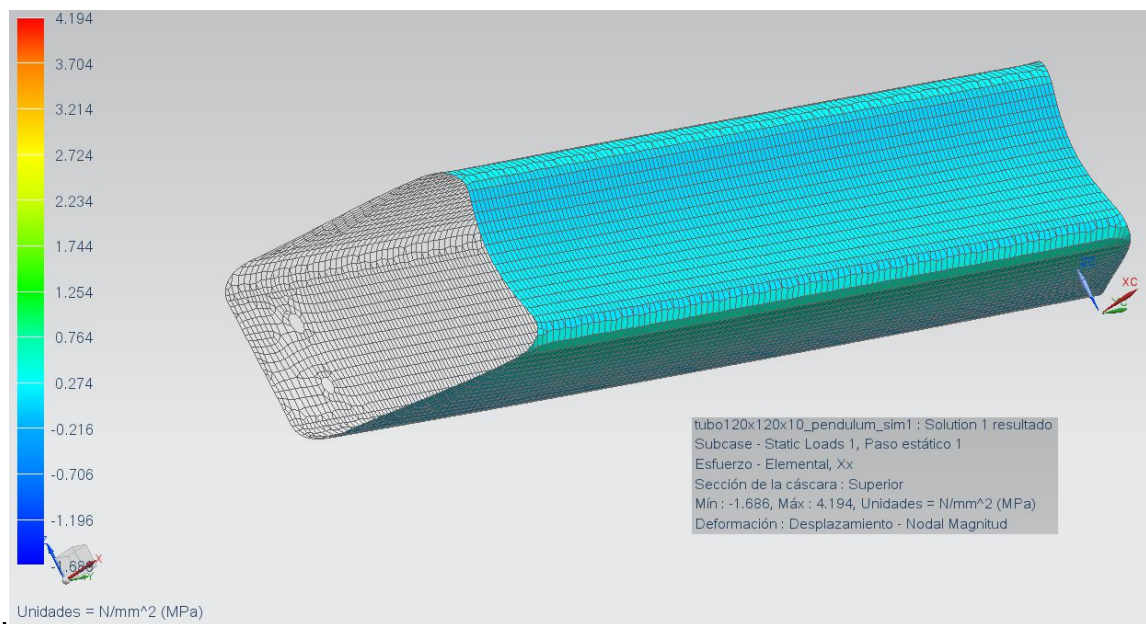


Figura 96: Mallado stopper bar con distribución de fuerzas  
Siemens NX



**Figura 97: Tensión normal *stopper bar***  
Siemens NX

Si vemos la deformación es mínima, así que la pieza aguanta el impacto de sobras, pero de todas formas lo cotejaremos con la tensión normal que se genera, y la compararemos con la tensión máxima del material.

Si calculamos la tensión normal, obtenemos que:

$$\sigma = \frac{F}{S};$$

$$\sigma = \frac{7899.34 \text{ N}}{(0.65 \times 0.12) \text{ m}} = 101273.58 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 101.27 \text{ Mpa}$$

Si comparamos ese valor con el límite elástico del acero podemos observar que llega a la mitad de la tensión de flexión del material.

Valores típicos de la tensión de rotura [\[ editar \]](#)

Tensiones de rotura de algunos materiales			
Material	Límite elástico (MPa)	Tensión de rotura (MPa)	Densidad (g/cm³)
Acero estructural ASTM <a href="#">acero A36</a>	250	400	7,8
Acero al carbono 1090	250	841	7,58

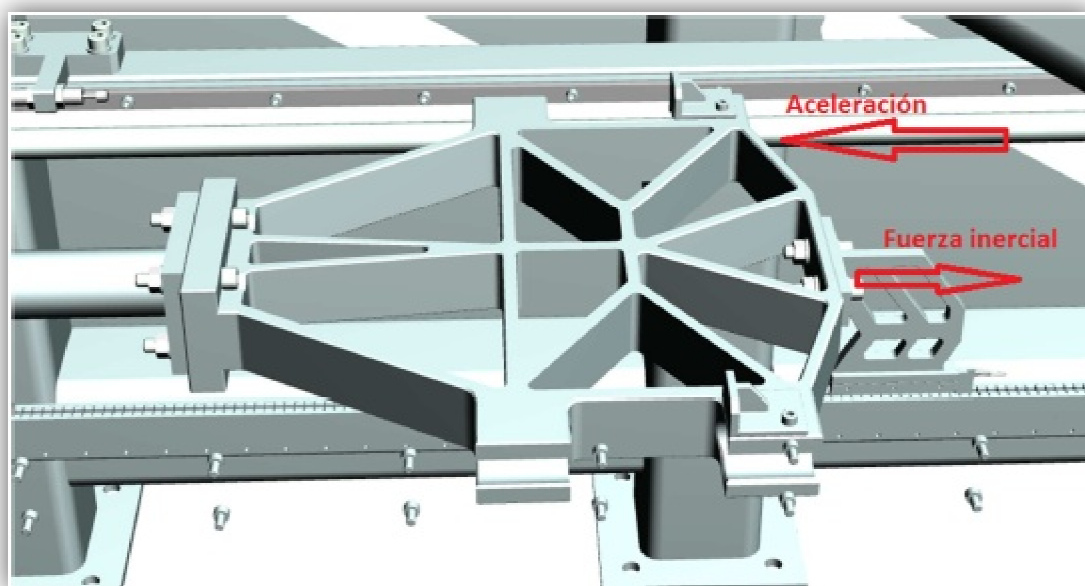
**Figura 98: Valores de tensiones del acero**  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n\\_de\\_rotura](https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_de_rotura)

## 8.2 Sistema de propulsión

### 8.2.1 Carro

Habiendo visto que los cálculos con Siemens NX son fiables, con el carro se realizó el mismo procedimiento.

Antes de realizar el mallado hay que calcular las fuerzas que intervienen, para ello utilizaremos el siguiente esquema:



**Figura 99: Esquema fuerzas propulsor**  
Siemens NX

Cogiendo como base este esquema, cuando el motor acelera el conjunto se genera una fuerza determinada, que a su misma vez tendrá el mismo valor que la fuerza inercial en sentido contrario. Por lo tanto deducimos en el caso de máximo trabajo que:

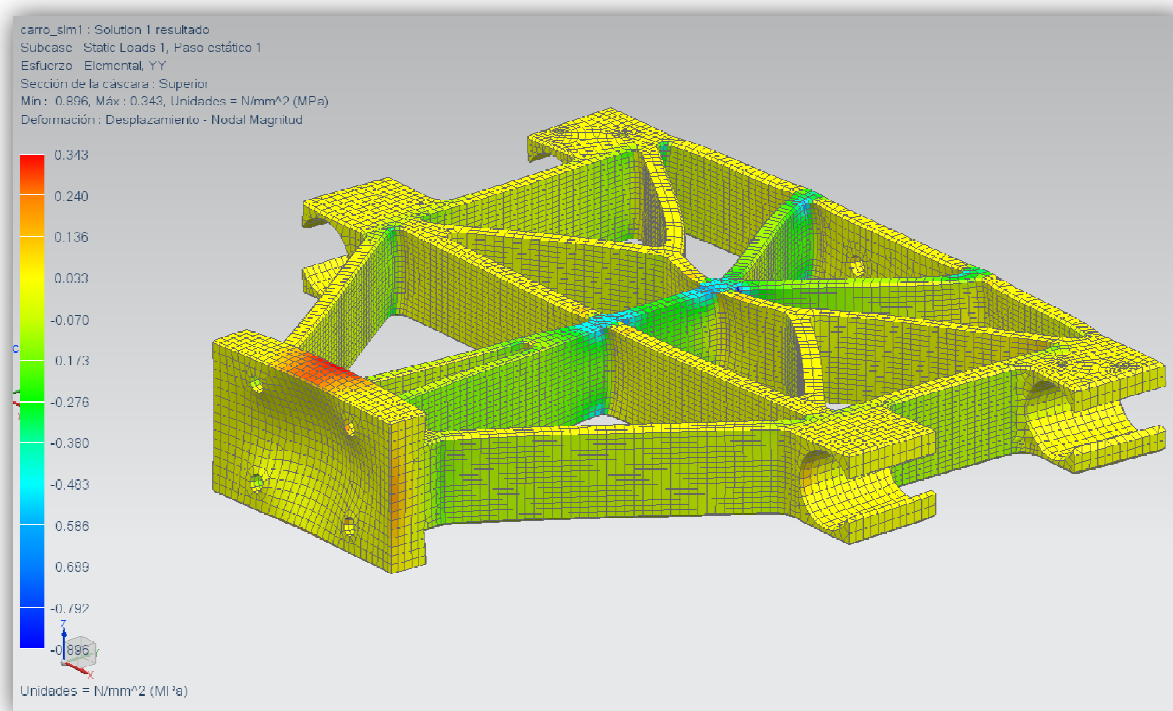
$$F = m \times a$$

Dónde la aceleración será la máxima del motor ( $49 \text{ m/s}^2$ ), y la masa en el peor de los casos ( $10,5 \text{ kg}$ ). Por lo tanto se genera una fuerza de:

$$F = 10,5 \text{ kg} \times 49 \text{ m/s}^2 = \mathbf{514,5 \text{ N}}$$

Se considera que el cabeceo de la punta del impactador hacia arriba es nulo ya que los cojinetes de bolas restringen ese movimiento.

Una vez mallado y aplica la fuerza en el carro, obtenemos los siguientes resultados:



**Figura 100: Distribución de fuerza en carro**  
Siemens NX

$$\sigma = 0,343 \text{ N/mm}^2 = 34300 \text{ N/m}^2 = 34,3 \text{ Mpa}$$

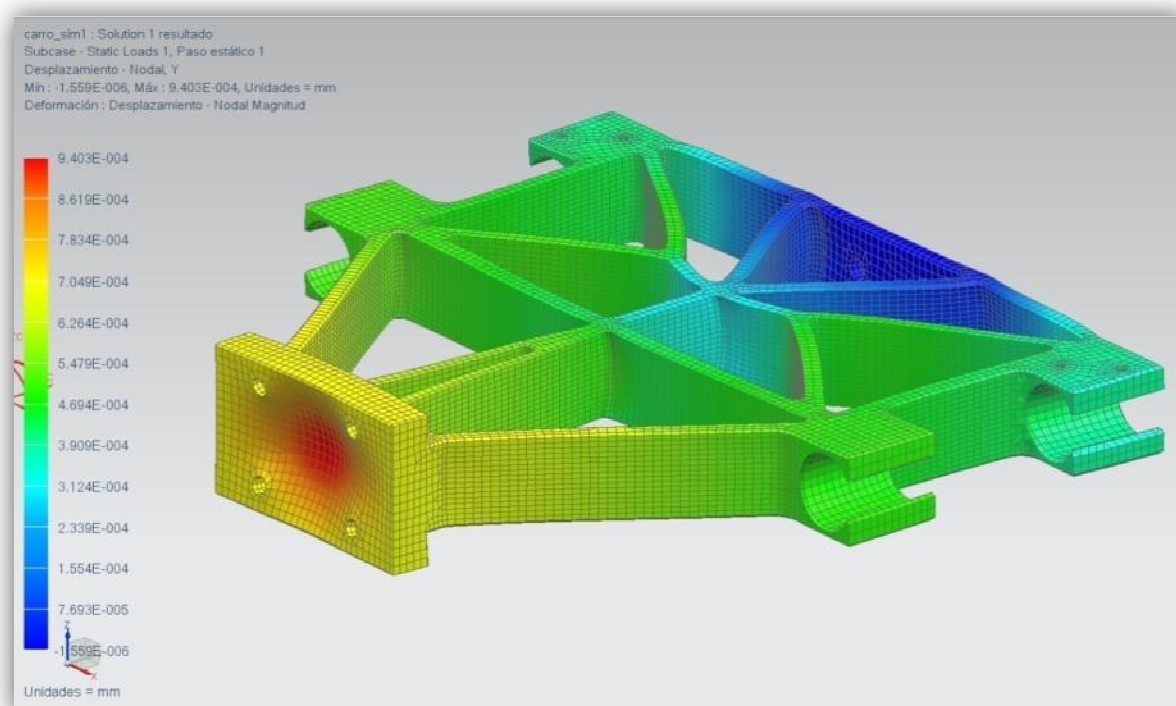
Siendo la tensión de límite elástico 414 Mpa

Valores típicos de la tensión de rotura [\[editar\]](#)

Tensiones de rotura de algunos materiales			
Material	Límite elástico (MPa)	Tensión de rotura (MPa)	Densidad (g/cm³)
Aleación de aluminio <sup>12</sup> 2014-T6	414	483	2,8

**Figura 101: Valores de tensiones del aluminio**  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n\\_de\\_rotura](https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_de_rotura)

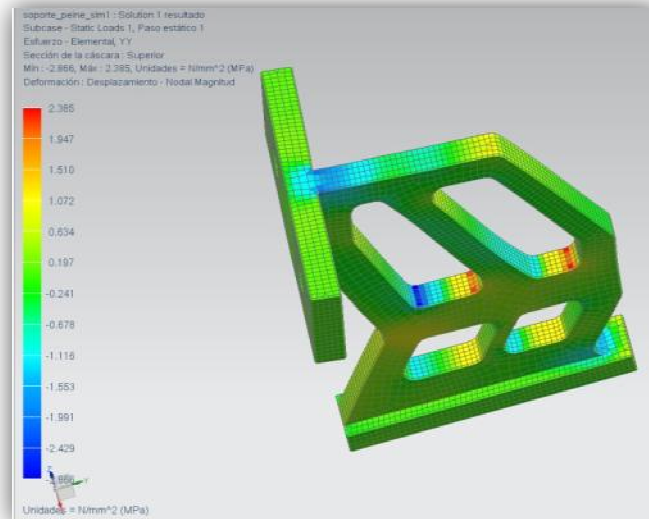
Para acabar de asegurar el correcto funcionamiento del componente, aprovechando el mallado, también se han calculado las deformaciones que sufre el carro, que se puede ver que son minúsculas.



**Figura 102: Deformaciones carro**  
Siemens NX

### 8.2.2 Propulsor

Para el propulsor, que es el elemento de empuje del carro, se le aplica la misma fuerza que el carro, ya que al ser la pieza encargada de la transmisión del movimiento, se considera un elemento crítico. Aunque después de realizar el mallado vemos que la pieza es lo suficientemente robusta para soportar las cargas.



**Figura 103: Cargas en propulsor**  
Siemens NX

### 8.2.3 Shock Absorbers

Los shockabsorbers son los encargados de parar todo el sistema de propulsión si el motor no puede invertir el movimiento y frena por sí solo. Los shockabsorbers son dos amortiguadores de aceite de uso industrial y retorno por muelle capaces de soportar una carga por choque. Para calcular esa carga solamente debemos calcular la energía máxima en el peor de los casos que es el inverse test.

$$\text{Energía cinética} = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

$$E_c = 0.5 \times 8.1 \times 11.11^2 = 500 \text{ Joules} = 500 \text{ Nm}$$

Con éstos cálculos deducimos que cada amortiguador debe soportar al menos 250 Joules o Nm, que en el caso de este diseño son 2, así que la energía queda directamente partida entre dos.

Los amortiguadores escogidos se encuentran en los anexos.



# 09

## Pliego de condiciones



## 9. PLIEGO DE CONDICIONES

A continuación se detallarán todas las condiciones necesarias para que la fabricación de la estación de calibración se lleve a cabo perfectamente y se pueda cumplir con su propósito.

### 9.1 Tolerancias de fabricación

Se han de cumplir estrictamente las tolerancias de fabricación que tengan relación directa con el posicionamiento de los impactadores para realizar los ensayos de calibración.

### 9.2 Materiales de fabricación y elementos comerciales

- El acero utilizado para piezas mecanizadas será F-1100 y cumplirán las especificaciones de pavonado para evitar el óxido, o pintura en su defecto.
- El acero estructural utilizado podrá ser F-1100 o cualquier otro que pueda cumplir las especificaciones.
- El aluminio para las piezas mecanizadas será la aleación AL-6063 y todas las piezas recibirán un anodizado decorativo, o de protección.
- Los motores serán suministrados por el fabricante, o distribuidor en su defecto, ROCKWELL AUTOMATION o ALLEN-BRADLEY.
- El resto de componentes han de ser compatibles con ROCKWELL SOFTWARE para su posterior programación.
- La pintura empleada en las piezas pintadas, ha de ser de uso industrial y previamente recibir una capa de imprimación anti óxido.
- La tornillería ha de cumplir estrictamente las normativas ISO pertinentes.
- Si algún componente eléctrico ha de ser sustituido será bajo la supervisión de la ingeniería encargada de realizar la programación del software.
- Las placas de protección siempre deberán estar instaladas durante la realización de ensayos.

pendulum_008	1	F-1100	s/plano	2.5	0.97
pendulum_009	1	F-1100	s/plano	1.3	0.96
pendulum_010	1	F-1100	s/plano	1.5	0.98
pendulum_011	1	F-1100	s/plano	1.5	0.98
pendulum_012	1	F-1100	s/plano	0.5	0.94
pendulum_013	1	F-1100	s/plano	1.6	0.95
pendulum_014	1	F-1100	s/plano	1.4	0.96
pendulum_015	1	F-1100	s/plano	1.45	0.96
pendulum_016	1	F-1100	s/plano	1.6	0.97
pendulum_017	1	F-1100	s/plano	1.6	0.97
propulsión_001	1	AL-6063	s/plano	1.6	0.97
propulsión_002	2	F-1100	s/plano	1.2	0.94

# 10 Presupuesto

## 10. PRESUPUESTO

A continuación se detallarán toda la lista de componentes necesarios y su presupuesto. Los precios pueden variar según el distribuidor del material y empresa encargada de los servicios.

- **COSTE BRUTO DE MATERIAL:** en esta tabla se expone el precio relacionado con el peso de los componentes.
- **COSTE DE ELEMENTOS COMERCIALES:** aquí se detallan los precios de elementos comerciales tales como tornillería, guías, cojinetes, etc..
- **COSTE DE INGENIERÍA INTERNA:** éstos son los costes por parte del ingeniero/ingenieros participantes de la empresa.
- **COSTE DE INGENIERIA EXTERNA:** éstos son los costes de servicios de ingeniería subcontratada para la parte eléctrica/electrónica.
- **COSTE DE FABRICACIÓN:** el precio de la soldadura del bastidor, la resta de módulos soldados, y mecanización de piezas.

COSTE BRUTO DE MATERIAL						
NUM	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIÓN (mm)	PESO TOTAL (kg)	COSTE (€)
1	Bastidor_001	4	F-1100	s/plano	3,5	1,225
2	Bastidor_002	2	F-1100	3000	54,6	19,11
3	Bastidor_003	8	F-1100	s/plano	12	4,2
4	Bastidor_004	6	F-1100	3900	70,98	24,843
5	Bastidor_005	2	F-1100	2000	36,4	12,74
6	Bastidor_006	2	F-1100	1200	21,84	7,644
7	Bastidor_007	2	F-1100	600	10,92	3,822
8	Bastidor_008	3	F-1100	1800	32,76	11,466
9	Bastidor_009	2	F-1100	4600	83,72	29,302
10	Bastidor_010	2	chapa inox	s/plano	8	35,2
11	Bastidor_011	2	chapa inox	s/plano	6	33,1
12	Bastidor_012	2	chapa inox	s/plano	4	26,8
51	Inverse_001	2	F-1100	s/plano	3,5	1,225
52	Inverse_002	1	F-1100	s/plano	0,65	0,2275
53	Inverse_003	1	F-1100	s/plano	0,35	0,1225
54	Inverse_004	1	F-1100	s/plano	0,2	0,07
55	Inverse_005	1	F-1100	s/plano	1,5	0,525
56	Inverse_006	1	F-1100	s/plano	1,43	0,5005
57	Inverse_007	1	F-1100	s/plano	1	0,35
58	Inverse_008	1	F-1100	s/plano	1,36	0,476
59	Inverse_009	1	F-1100	s/plano	0,89	0,3115

60	Inverse_010	1	F-1100	s/plano	1,54	0,539
61	Inverse_011	1	F-1100	s/plano	1,43	0,5005
62	Inverse_012	1	F-1100	s/plano	1,5	0,525
63	Inverse_013	1	F-1100	s/plano	0,65	0,2275
64	Inverse_014	1	F-1100	s/plano	0,32	0,112
65	Inverse_015	1	F-1100	s/plano	0,64	0,224
21	Pendulum_001	2	F-1100	s/plano	0,6	0,21
22	Pendulum_002	2	Nylon	s/plano	0,1	0,035
23	Pendulum_003	1	AL-6063	s/plano	2,3	6,78
24	Pendulum_004	1	AL-6063	s/plano	2,5	6,53
25	Pendulum_005	1	AL-6063	s/plano	3,2	1,12
26	Pendulum_006	1	AL-6063	s/plano	3,2	1,12
27	Pendulum_007	1	F-1100	s/plano	2,1	6,2
28	Pendulum_008	1	F-1100	s/plano	2,5	0,875
29	Pendulum_009	1	F-1100	s/plano	2,3	0,805
30	Pendulum_010	1	F-1100	s/plano	1,5	0,525
31	Pendulum_011	1	F-1100	s/plano	1,5	0,525
32	Pendulum_012	1	F-1100	s/plano	0,4	0,14
33	Pendulum_013	1	F-1100	s/plano	0,6	0,21
34	Pendulum_014	1	F-1100	s/plano	1,8	0,63
35	Pendulum_015	1	F-1100	s/plano	1,4	0,49
36	Pendulum_016	1	F-1100	s/plano	1,45	0,5075
37	Pendulum_017	1	F-1100	s/plano	2,6	0,91
80	Propulsión_001	1	AL-6063	s/plano	7,2	22,08
81	Propulsión_002	2	F-1100	s/plano	2,78	0,973
82	Propulsión_003	2	F-1100	s/plano	3,2	1,12
83	Propulsión_004	1	AL-6063	s/plano	2,5	2,67
84	Propulsión_005	1	AL-6063	s/plano	2,4	3,65
92	Segmento motor	6	F-1100	s/plano	6,2	2,17
					PORTES	70
					TOTAL (€) =	345,6635 €

COSTE DE ELEMENTOS COMERCIALES				
NUM	REFERENCIA	CANTIDAD	DIMENSIÓN (mm)	COSTE (€)
13	Tornillo allen DIN 912	55	M5x10	11,32
66	Tornillo allen DIN 912	4	M12x40	3,56
67	Arandela DIN 125	8	Ø12	0,96
68	Tuerca DIN 934	4	Ø12	2,48
69	Tornillo allen DIN 912	15	M6x20	4,56
70	seegers DIN 472	2	Ø15	1,23
71	cilindro doble vastago	2		253,1
72	muelle precarga	1		68,98
38	motor rotativo	1		625,35
39	Tornillo allen DIN 912	55	M5x15	11,45
40	Tornillo allen DIN 912	6	M10x40	3,43
41	Arandela DIN 125	4	Ø10	1,25
42	Tornillo allen DIN 912	12	M12x40	4,56
43	Arandela DIN 125	12	M12	3,45
85	Guías calibradas	2	1800mm	410,67
89	Shock absorbers	2		235
93	Tornillo allen DIN 912	12	M6x40	2,12
94	Arandela DIN 125	12	Ø12	1,98
95	Tuerca DIN 934	12	M6	3,13
96	Arandela DIN 125	28	Ø10	3,36
98	Tuerca DIN 934	10	M10	1,95
99	Tornillo allen DIN 912	60	M6x10	16,12
101	Coginetes lineales	4		64,96
102	Motor lineal	1		3325
			TOTAL (€) =	5.059,97 €

COSTES INGENIERIA INTERNA			
FASE	TIEMPO (h)	PRECIO (€)	TOTAL (€)
Investigación	35,00	22,00	770,00
Diseño 3D	375,00	22,00	8.250,00
Cálculos	30,00	22,00	660,00
Ensayos de validación	70,00	45,00	3.150,00
<b>TOTAL</b>	<b>510,00</b>		<b>12.830,00 €</b>

COSTES DE INGENIERIA EXTERNA			
FASE	TIEMPO (h)	PRECIO (€)	TOTAL (€)
Estudios previos	6,00	38,00	228,00
Diseño automatismos	120,00	38,00	4.560,00
Cálculos	15,00	38,00	570,00
Programación	70,00	38,00	2.660,00
<b>TOTAL</b>	<b>211,00</b>		<b>8.018,00 €</b>

COSTES DE FABRICACIÓN			
FASE	TIEMPO (h)	PRECIO (€)	TOTAL (€)
Soldadura bastidor y módulos	40,00	43,00	1.720,00
Mecanización de piezas	65,00	45,00	2.925,00
Ensamblaje	30,00	43,00	1.290,00
Ajuste de componentes	10,00	38,00	380,00
<b>TOTAL</b>	<b>145,00</b>		<b>6.315,00 €</b>

SUMA TOTAL	
ASIGNACIÓN	PRECIO (€)
BRUTO MATERIAL	345,66
COMPONENTES COMERCIALES	5.059,97
COSTES DE INGENIERIA INTERNA	12.830,00
COSTES DE INGENIERIA EXTERNA	8.018,00
COSTES DE FABRICACIÓN	6.315,00
<b>TOTAL</b>	<b>32.568,63 €</b>

# 11

## Aceptación del proyecto en la empresa

## 11. ACEPTACIÓN DEL PROYECTO EN LA EMPRESA

En la imagen adjunta se puede ver cómo después de la presentación oficial de la idea antes los directores generales y el comité de innovación, la idea fue aprobada para llevar a cabo la construcción de la estación de calibración.



Hola

Os pasamos la resolución de vuestra idea candidata: "Calibration station for pedestrian impactors".

Felicidades! La idea se aprobó. Sin embargo antes de empezar el proyecto debéis realizar una evaluación de las personas que trabajarán en cada actividad con nombres y apellidos, así como de materiales y equipos necesarios.

Se han aprobado los costes de personal 1,104 horas y 35,000 Euros de materiales.

Podéis tomar el borrador adjunto como ejemplo.

Cuando lo tengáis todo lo discutiremos en el kick-off meeting que tenéis que organizar vosotros, invitándonos a nosotros y al departamento de compras (L. Ferré y/o M. Arigau). No pueden pasar más de tres meses desde a organizar el kick-off después de la recepción de este e-mail.

Os paso también las guías de monitorización de estos proyectos.

Sería de gran ayuda que le deis una ojeada antes de la reunión de kick-off.

Para cualquier duda con esta evaluación no dudéis en contactarnos.

Saludos,  
Mónica  
3135/2147

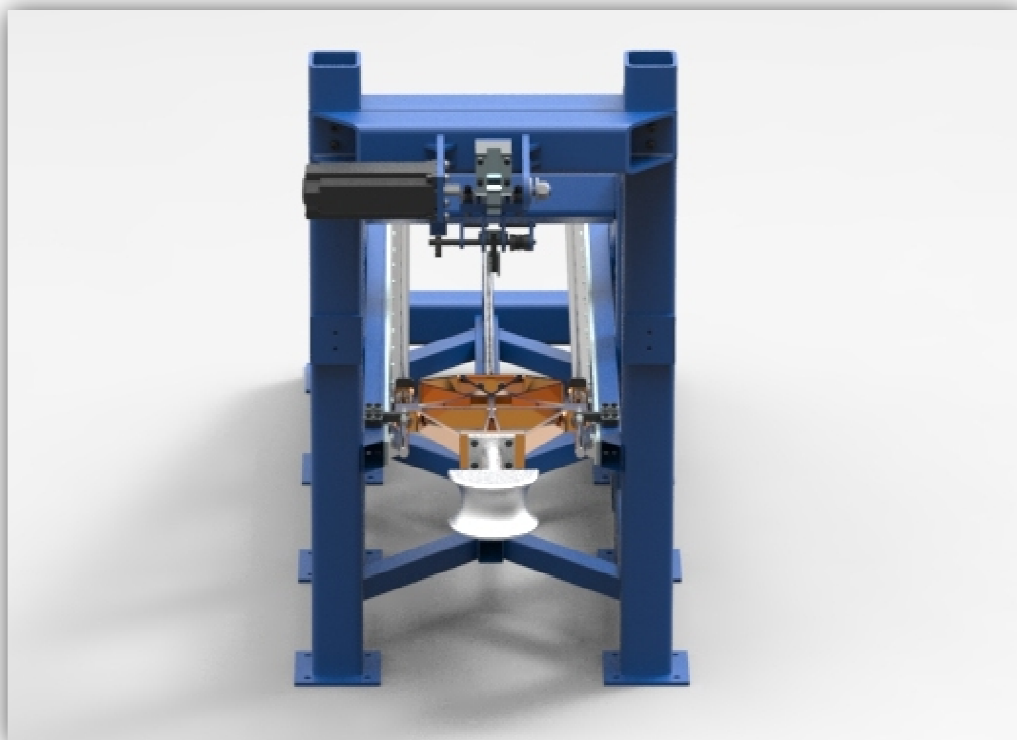


# 12

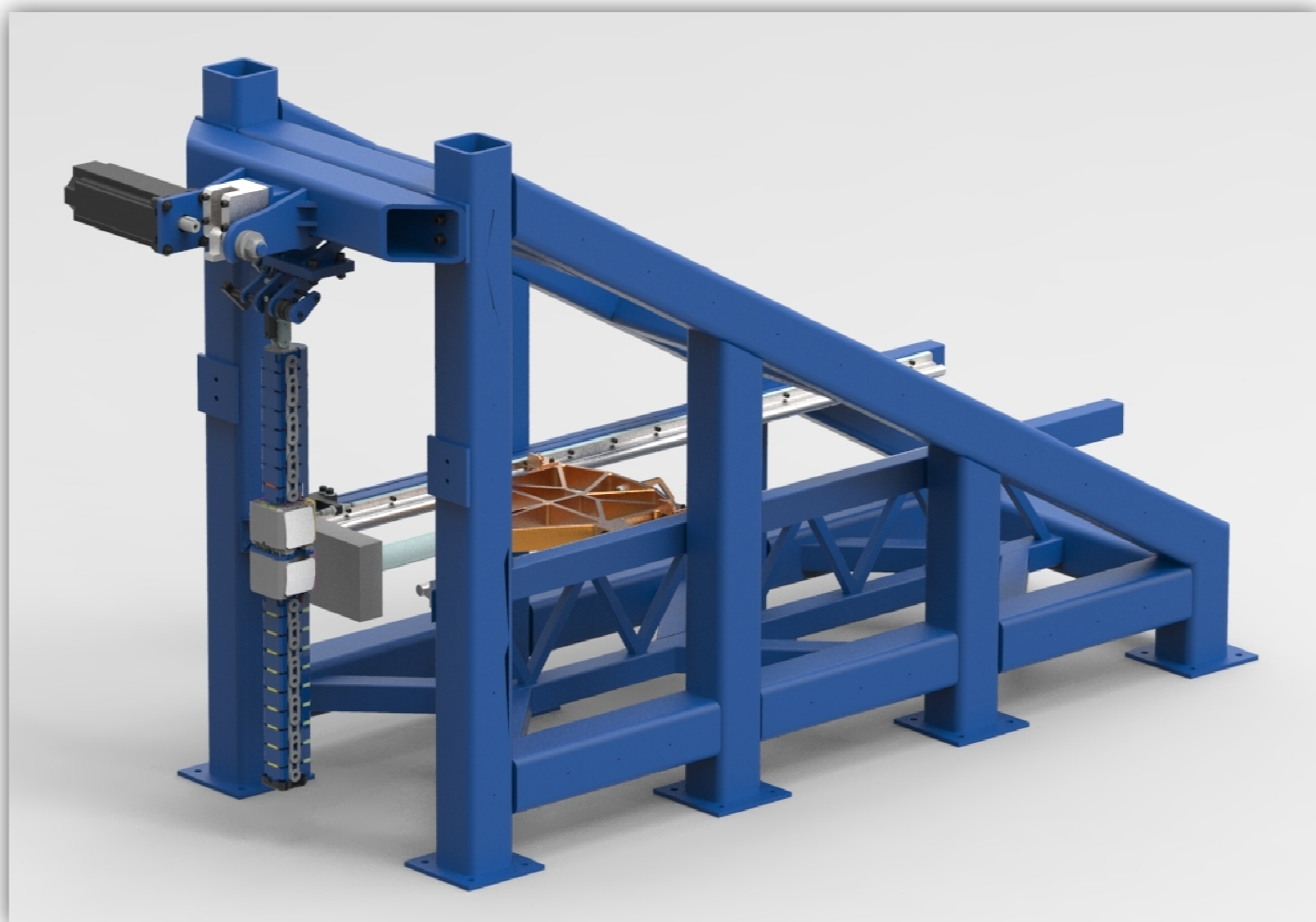
## Visualización final del prototipo

## 12. VISUALIZACIÓN FINAL DEL PROTOTIPO

En este apartado se muestran imágenes renderizadas de como que pretender reproducir de la manera más real posible el prototipo de la estación de calibraciones.







# 13

## Conclusiones

## 13. CONCLUSIONES

La conclusión principal que saco personalmente de este proyecto, es que no ha sido tan fácil como parecía a primera vista el diseñar una máquina capaz de poder hacer todas las calibraciones de los impactadores que tenemos en el laboratorio.

Lo que ha ido quedando cada vez más claro durante realización del proyecto ha sido que la fabricación de esta estación de calibraciones es necesaria, ya que durante estos meses hemos notado un aumento de proyectos y una carga de trabajo mayor, que directamente al realizar más número de ensayos con vehículos, han tenido que aumentar los ensayos de calibración, creándonos en ciertos momento, conflictos con la producción.

Por otro lado, los problemas y las dificultades que han ido saliendo sobre la marcha han hecho que aprenda mucho sobre temas que no tenía mucha experiencia o que tenía muy pocos conocimientos sobre ellos, sobre todo a formalizar una construcción, ya que todos mis años de experiencia tanto en IDIADA como en mis otros trabajos que no han sido totalmente relacionados con la automoción, han sido desde el punto de vista, y lo que se vive día a día en el taller.

También tengo que mencionar que gracias a los estudios previos de los equipos, he ampliado fuertemente mis conocimientos sobre cómo funcionan los impactadores que usamos a diario en los laboratorios, ya que hasta ahora eran básicos.

Algo que también ha sido nuevo para mí, es el contacto directo con proveedores, tanto como para pedir presupuestos, como para realizar reuniones con los equipos de ingeniería para buscar soluciones tanto del aspecto eléctrico y la creación de software para gobernar la máquina, cosa que tampoco ha sido tarea fácil ya que tuve que exponer las ideas de forma muy clara para poder buscar las soluciones.

He echado en falta el poder dedicarle algo más de tiempo relajadamente. Sí que es cierto que el proyecto está finalizado y preparado para ser ejecutado en la empresa, pero detrás de él está el esfuerzo titánico que he tenido que hacer ya que, he tenido que cumplir con mi jornada diaria de 8 horas cómo mecánico, junto con todas las responsabilidades que mi puesto de trabajo requiere, además de las 3 últimas asignaturas de la carrera, así que no ha sido tarea fácil, pero estoy contento de haberlo sacado a delante, y por otro lado ansioso por la gran oportunidad que me ha brindado IDIADA de poder llevarlo a cabo como ingeniero responsable a partir de la entrega del proyecto.

# 14 Anexos

## 14. ANEXOS

Todos los anexos están juntados en un mismo archivo pdf, de los cuales se podrá encontrar toda la información en el siguiente índice.

1. Flex-PLI User manual.....	3
2. Reg EC 631_2009.....	82
3. User manual for TRL pedestrian legform impactor.....	142
4. User documentation for the TRL pedestrian upper legform.....	164
5. MP-Series Low Inertia motors.....	193
6. Auto industrial shock absorbers.....	197
8. Kinetic Linear Motion Specifications.....	200
9. Photo switch bulletin 45FSL Fiber Optic Sensors.....	220



# 15

## Bibliografía

## 15. BIBLIOGRAFIA

[www.dynamore.de](http://www.dynamore.de)  
[www.ircobi.org](http://www.ircobi.org)

[www.dynalook.com](http://www.dynalook.com)

[www.euroncap.com/](http://www.euroncap.com/)

<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/proceed/00055.pdf>

<http://www.euroncap.com/es/para-ingenieros/protocols/pedestrian-protection/>

<http://www.trl.co.uk/solutions/testing-certification/legform-impactors/lower-legform-impactor/>

<http://www.humaneticsatd.com/specialty-products/>

<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29grsp/PLLe.pdf>

<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29grsp/GRSP-49-24e.pdf>

[http://www.oasys-software.com/dyna/en/fe-models/pedestrian/Arup\\_Pedestrian\\_Flyer\\_A4-2pg.pdf](http://www.oasys-software.com/dyna/en/fe-models/pedestrian/Arup_Pedestrian_Flyer_A4-2pg.pdf)

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:195:0001:0060:EN:PDF>

<http://www.cea-online.es/reportajes/seguridad.asp>

[http://medias.schaeffler.de/medias/es!hp.ec.br.zugprod/KBO\\*KBO25\\*TSNW\\_WF\\*TSNW25;b1LFlaxxyw4d](http://medias.schaeffler.de/medias/es!hp.ec.br.zugprod/KBO*KBO25*TSNW_WF*TSNW25;b1LFlaxxyw4d)

[http://medias.schaeffler.de/medias/hp.ec.br.pr/PABO..-PP-AS\\*PABO25-PP-AS;bP9HLmWFObrf?clrsb=1](http://medias.schaeffler.de/medias/hp.ec.br.pr/PABO..-PP-AS*PABO25-PP-AS;bP9HLmWFObrf?clrsb=1)

<http://www.incafe2000.es>

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/gmc-td002\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/gmc-td002_-en-p.pdf)

